

# **CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE SINAGOGAS A SINAGOGA MEKOR HAIM (PORTO)**

**JOSÉ DANIEL RIBEIRO AMADO**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

FEVEREIRO DE 2011

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.



À minha família e amigos



## **AGRADECIMENTOS**

Aproveito este momento para agradecer a todos aqueles que tornaram este trabalho possível.

Ao meu orientador, Professor Doutor A. P. Oliveira de Carvalho, por todo o apoio, partilha de conhecimentos, paciência, simpatia e boa disposição e acima de tudo, pelo interesse demonstrado durante a realização desta dissertação.

Ao Engenheiro António Eduardo Costa por todo o apoio prestado durante os ensaios, disponibilidade para esclarecimento de dúvidas e sugestões na fase de tratamento de dados.

À Comunidade Israelita do Porto, mais propriamente a Jorge Neves (Vice-Presidente da Comunidade Israelita do Porto) pela grande simpatia e disponibilidade ao longo de toda a realização deste trabalho, quer antes, durante e após a realização dos ensaios.

A Mendel Kleiner pela cedência de um estudo seu sobre sinagogas e sugestão de um livro sobre acústica em locais de culto.

A toda a minha família por todo o apoio ao longo de todos estes anos, em especial aos meus pais por me possibilitarem realizar o curso de Engenharia Civil.

Aos meus amigos, por todo o apoio, amizade, simpatia e boa disposição demonstrados ao longo de todo o meu percurso académico, tornando-o muito especial.



## RESUMO

Verifica-se actualmente um crescente interesse no estudo da área da acústica com o objectivo de controlar o ambiente sonoro interior de um espaço, a fim de proporcionar uma melhor qualidade do seu uso. O dimensionamento acústico de um espaço é feito (ou deveria ser) com base na utilização prevista para este para além de outros parâmetros, como por exemplo, a forma, o volume e a absorção sonora das superfícies. Existem no entanto espaços, como é o caso dos locais de culto, onde este assunto assume um papel acrescido.

Esta dissertação centra-se na caracterização acústica dos locais de culto da comunidade judaica, ou seja, das sinagogas. É feita a análise dos fundamentos desta religião e um paralelo com a religião Católica.

Para o caso de estudo, procede-se à caracterização acústica da Sinagoga Mekor Haim (Porto), mais propriamente da sua zona de culto. Tornou-se por isso importante conhecer fisicamente o espaço e proceder a medições acústicas realizadas em diferentes pontos no local.

Nesse espaço são analisadas a reverberação, a inteligibilidade da palavra e o ruído de fundo existente associado a ruído de tráfego.

Na análise objectiva, os parâmetros estudados são o tempo de reverberação (TR), o RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) e o nível sonoro de ruído de fundo ( $L_A$ ).

O tempo de reverberação foi medido em bandas de oitava entre os 125 Hz e 4.000 Hz. O RASTI foi medido em dois locais distintos, sendo o primeiro o local de culto onde se procede à leitura da Tora e onde se encontram os homens, e o segundo no piso superior que é onde se instalam as mulheres. O ruído de fundo é analisado sem o funcionamento de sistema de AVAC visto a Sinagoga não se encontrar equipada com qualquer tipo destes equipamentos.

É realizada também uma comparação com estudos realizados em igrejas e mesquitas que apresentam uma volumetria semelhante.

A breve análise subjectiva realiza-se com base na opinião de Jorge Neves, Vice-Presidente da Comunidade Israelita do Porto, sobre o uso desta sala.

Tanto no piso de culto dos homens, como no das mulheres, obteve-se um tempo de reverberação médio de 4,6 s. Em relação ao RASTI, obteve-se um valor médio de 0,37 no piso dos homens e 0,31 no piso das mulheres. O valor do nível de pressão sonora do ruído de fundo medido foi de 54 dB no piso dos homens e 59 dB no das mulheres.

Os valores do nível de pressão sonora foram confrontados com as curvas *Noise Criteria* (NC) e *Noise Rating* (NR) com o intuito de avaliar a incomodidade que o ruído de fundo provocava. Para o piso dos homens foram obtidos os valores de NC-31 e NR-32, e para o piso das mulheres de NC-32 e NR-33.

São apresentadas sugestões para melhoria das condições acústicas da zona de culto da Sinagoga Mekor Haim (Porto) que permitiriam reduzir os valores do tempo de reverberação de 4,6 s para valores próximos dos 2 s, intervindo apenas na cúpula (108 m<sup>2</sup>) e com custos a variar entre os 60 e os 130 €/m<sup>2</sup> (num total entre os 6.500 e 14.000 €).

Por último, são apresentadas sugestões para desenvolvimentos futuros, isto é, aspectos que se poderiam aprofundar numa continuação deste estudo.

**PALAVRAS – CHAVE:** Sinagogas, Acústica, Tempo de Reverberação, RASTI, Ruído de Fundo.



## **ABSTRACT**

There is currently a growing interest in studying building acoustics to control the interior acoustic environment within a space, in order to provide a better quality of its use. The acoustic design of a space is (or should be) based on its intended use, apart from other parameters like shape, volume and sound absorption of the surfaces. However, there are spaces, such as worship spaces, where this assumes a greater role.

This dissertation focuses on the acoustic characterization of Jewish community's worship spaces, that is, synagogues. An analysis is presented into the base of this religion and a parallel with the Catholic religion.

For the case study, an acoustic characterization is made to the Mekor Haim Synagogue (Oporto, Portugal), more specifically in its worship area. In this space some acoustic measurements were done to analyze the reverberation, the speech intelligibility and the background noise associated with existing traffic noise.

The parameters studied are the Reverberation Time (RT), the RASTI (Rapid Speech Transmission Index) and the equivalent noise level of background traffic noise.

The reverberation time was measured in octave bands between 125 Hz and 4.000 Hz. The RASTI was measured in two different places: on the floor where the Torah is read and where men have their seats, and on the top floor where women have their seats. The background noise is analyzed without the operation of the HVAC system because the synagogue is not equipped with any type of this equipment.

A comparison is also made with other studies performed in churches and mosques with similar volume.

A brief subjective analysis is based on the opinion of the Vice-President of Oporto's Jewish Community, about the use of this room.

The average reverberation time (500 – 1.000 Hz) was 4,6 s. The average RASTI was 0,37 on the men's floor and 0,31 on the women's floor. The average sound pressure level of background noise was 54 dB on men's floor and 59 dB on women's floor.

The sound pressure level values were confronted with the Noise Criteria (NC) and Noise Rating (NR) curves in order to evaluate the annoyance of background noise. For the men's floor the values were NC-31 and NR-32, and for women's floor the values were NC-32 and NR-33.

Some suggestions for improving the acoustics of Mekor Haim Synagogue (Oporto, Portugal) are presented that can make the reverberation time values to decreased from 4,6 s to about 2 s with the corrections taking place only at the dome (108 m<sup>2</sup>). The costs of these corrections are estimated to between 60 and 130 Euros per square meter (about 6.500 to 14.000 € overall).

Finally, some suggestions are also presented for further developments in a possible future continuation of this study.

**KEYWORDS:** Synagogues, Acoustics, Reverberation Time, RASTI, Background Noise.





## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
 <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	 1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS .....	1
1.2. ESTRUTURA .....	2
 <b>2. A ACÚSTICA</b> .....	 3
2.1. INTRODUÇÃO .....	3
2.2. NOÇÕES BASE .....	4
2.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM E OS CONCEITOS DE SOM E RUÍDO .....	4
2.2.2. PRESSÃO SONORA .....	5
2.2.3. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA .....	5
2.2.4. NÍVEIS .....	6
2.2.5. FREQUÊNCIA .....	6
2.2.6. CURVAS DE PONDERAÇÃO .....	9
2.2.7. ABSORÇÃO SONORA .....	10
2.2.8. CAMPO DIRECTO E CAMPO REVERBERADO .....	12
2.2.9. PERCEPÇÃO DA PALAVRA .....	13
2.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS .....	14
2.3.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO .....	14
2.3.2. STI E RASTI .....	16
2.3.2.1. STI .....	16
2.3.2.2. RASTI .....	17
2.3.3. RUÍDO DE FUNDO – CURVAS DE INCOMODIDADE .....	18
 <b>3. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E RELIGIOSO</b> .....	 21
3.1. JUDAÍSMO .....	21
3.1.1. HISTÓRIA .....	21
3.1.2. FUNDAMENTOS E CRENÇAS .....	26

3.1.3. DIVISÕES NO SEIO DO JUDAÍSMO.....	27
<b>3.2. JUDAÍSMO EM PORTUGAL .....</b>	<b>28</b>
3.2.1. HISTÓRIA.....	28
3.2.2. AS SINAGOGAS DE PORTUGAL.....	31
3.2.2.1. Sinagoga Shaaré Tikvá (Lisboa) .....	31
3.2.2.2. Sinagoga Ohel Jacob (Lisboa) .....	31
3.2.2.3. Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	32
3.2.2.4. Sinagoga Beit Eliahu (Belmonte).....	32
3.2.2.5. Sinagoga Sahar Hassamain (Ponta Delgada) .....	33
3.2.2.6. Sinagoga de Tomar – Museu Luso-Hebraico Abraão Zacuto (Tomar) .....	33
3.2.3. OS JUDEUS EM PORTUGAL .....	34
 <b>4. ACÚSTICA NAS SINAGOGAS.....</b>	 <b>35</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2. DIFERENÇAS ENTRE MOVIMENTOS DE JUDAÍSMO.....</b>	<b>38</b>
4.2.1. INTRODUÇÃO .....	38
4.2.2. MOVIMENTO ORTODOXO .....	38
4.2.3. MOVIMENTO HASSÍDICO .....	40
4.2.4. MOVIMENTO REFORMISTA .....	41
4.2.5. MOVIMENTO CONSERVADOR.....	43
<b>4.3. NECESSIDADES ACÚSTICAS.....</b>	<b>43</b>
<b>4.4. REFLECTORES.....</b>	<b>44</b>
<b>4.5. BARREIRAS ACUSTICAMENTE TRANSPARENTES – MECHITZA.....</b>	<b>45</b>
<b>4.6. CONTROLO DE RUÍDO .....</b>	<b>46</b>
<b>4.7. SISTEMAS SONOROS.....</b>	<b>47</b>
 <b>5. A SINAGOGA MEKOR HAIM – PORTO.....</b>	 <b>51</b>
<b>5.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO .....</b>	<b>51</b>
<b>5.2. CARACTERIZAÇÃO DA SINAGOGA MEKOR HAIM .....</b>	<b>52</b>
<b>5.3. CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA.....</b>	<b>59</b>
5.3.1. DESCRIÇÃO .....	59
5.3.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO .....	60
5.3.2.1. Metodologia .....	60

5.3.2.2. Resultados .....	63
5.3.2.3. Comparação com valores ideais recomendados .....	65
5.3.3. RASTI .....	67
5.3.3.1. Metodologia .....	67
5.3.3.2. Resultados .....	70
5.3.4. NÍVEL SONORO.....	73
5.3.4.1. Metodologia .....	73
5.3.4.2. Resultados .....	74
5.3.4.3. Curvas de Incomodidade .....	76
5.3.5. ANÁLISE SUBJECTIVA .....	79
5.3.6. COMENTÁRIO FINAL .....	80

## **6. COMPARAÇÃO DA SINAGOGA MEKOR HAIM COM IGREJAS E MESQUITAS DE VOLUMETRIA SEMELHANTE**.....83

<b>6.1. COMPARAÇÃO COM IGREJAS CATÓLICAS COM VOLUMETRIA SEMELHANTE</b> .....	83
6.1.1. INTRODUÇÃO .....	83
6.1.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	85
6.1.3. RASTI .....	86
<b>6.2. COMPARAÇÃO COM MESQUITAS COM VOLUMETRIA SEMELHANTE</b> .....	87
6.2.1. INTRODUÇÃO .....	87
6.2.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO.....	88
6.2.3. RASTI .....	89
<b>6.3. COMENTÁRIO FINAL</b> .....	90

## **7. MELHORAMENTO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO** ....93

<b>7.1. TIPOS DE INTERVENÇÃO PARA MELHORAMENTO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO</b> .....	93
7.1.1. CORRECÇÃO ACÚSTICA VS. ISOLAMENTO SONORO.....	93
7.1.1.1. Definição .....	93
7.1.1.2. Correção acústica.....	93
7.1.1.3. Isolamento sonoro .....	97
<b>7.2. CORRECÇÃO ACÚSTICA NA SINAGOGA MEKOR HAIM</b> .....	97
7.2.1. IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS.....	97
7.2.2. SUGESTÕES DE INTERVENÇÕES.....	98

7.2.3. PREVISÃO DE TEMPOS DE REVERBERAÇÃO APÓS CORRECÇÃO.....	100
7.2.4. ANÁLISE DE CUSTOS.....	103
7.2.5. CONCLUSÕES .....	103

## **8. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS..... 105**

8.1. CONCLUSÕES .....	105
-----------------------	-----

8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	107
-------------------------------------	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
---------------------------------	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Oscilação na propagação do som [2] .....	4
Figura 2.2 – Oscilogramas (à esquerda) e espectrograma (à direita) de dois sons puros e a soma destes (som complexo ou composto) [2] .....	7
Figura 2.3 – Espectro de um ruído em bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava [2] .....	7
Figura 2.4 – Curvas de ponderação A, B, C e D [12] .....	9
Figura 2.5 – Evolução do nível de pressão sonora com o aumento da distância à fonte com representação do campo directo (linha descendente) e do campo reverberado (linha horizontal) [15] .....	12
Figura 2.6 – Variação em relação à direcção da voz humana em função da frequência [8] .....	13
Figura 2.7 – Evolução temporal da energia sonora correspondente à emissão de uma vogal e de uma consoante subsequente num espaço fechado [adaptado de 3] .....	15
Figura 2.8 – Curvas do método <i>Noise Criteria</i> - NC .....	18
Figura 2.9 – Curvas do método <i>Noise Rating</i> – NR .....	18
Figura 3.1 – Mapa das doze tribos de Israel [25] .....	22
Figura 3.2 – Miniatura exemplificativa de como seria a Arca da Aliança [28] .....	23
Figura 3.3 – Desenho do que terá sido o Templo de Salomão (1º Templo) [29] .....	23
Figura 3.4 – Representação do segundo Templo de Jerusalém [31] .....	24
Figura 3.5 – Sinagoga Portuguesa de Amesterdão (Holanda) [35] .....	30
Figura 3.6 – Sinagoga Shaaré Tikvá (Lisboa) [39] .....	31
Figura 3.7 – Sinagoga Ohel Jacob (Lisboa) [40] .....	31
Figura 3.8 – Sinagoga Mekor Haim (Porto) [Foto do autor] .....	32
Figura 3.9 – Sinagoga Beit Eliahu (Belmonte) [42] .....	32
Figura 3.10 – Sinagoga Sahar Hassamain antes da reabilitação (Ponta Delgada) [44] .....	33
Figura 3.11 – Sinagoga de Tomar – pormenor das aberturas dos vasos embutidos nas paredes [46] .....	33
Figura 3.12 – Sinagoga de Tomar (Tomar) [47] .....	34
Figura 4.1 – Exemplo de um <i>Shofar</i> [50] .....	35
Figura 4.2 – Ruínas da sinagoga de Gamla, Israel [51] .....	36
Figura 4.3 – Vista aérea das ruínas da sinagoga Kfar Nachum, Israel [52] .....	36
Figura 4.4 – Ruínas da sinagoga Kfar Nachum, Israel [52] .....	37
Figura 4.5 – Igreja Santa Maria La Blanca (antiga sinagoga) (Toledo, Espanha) [53] .....	37
Figura 4.6 – Representação esquemática de uma sinagoga ortodoxa (localização dos homens) .....	39
Figura 4.7 – Localização dos homens e mulheres numa sinagoga ortodoxa (situação tradicional) .....	39

Figura 4.8 – Localização dos homens e mulheres numa sinagoga ortodoxa (situação com tela opaca) .....	39
Figura 4.9 – Interior de uma <i>Shtiebl</i> [54] .....	40
Figura 4.10 – Interior da Grande Sinagoga no <i>Belz World Center</i> em Jerusalém [55].....	40
Figura 4.11 – Representação esquemática de uma sinagoga reformista.....	41
Figura 4.12 – Sinagoga de Gotemburgo (Suécia) [56].....	42
Figura 4.13 – Sinagoga Central (Manhattan, Nova Iorque) [57] .....	42
Figura 4.14 – Templo Israel (Albany, Nova Iorque) [58] .....	43
Figura 4.15 – Representação esquemática da localização dos diversos elementos de uma sinagoga (à esquerda o piso dos homens e à direita o piso das mulheres) .....	44
Figura 4.16 – Sinagoga Rodef Shalom (Pittsburgh, Pensilvânia, EUA) [61].....	44
Figura 4.17 – Suburban Torah Center (Livingston, New Jersey, EUA) [62] .....	45
Figura 4.18 – Sinagoga Beth Israel (Vidalia, Georgia, EUA) [63] .....	45
Figura 4.19 – Congregação Ahavas Sholom, vista lado dos homens (Ohio, EUA) [64].....	45
Figura 4.20 – Congregação Ahavas Sholom, vista lado das mulheres (Ohio, EUA) [64].....	45
Figura 4.21 – Exemplo <i>mechitza</i> , vista lado dos homens [65].....	46
Figura 4.22 – Exemplo <i>mechitza</i> , vista lado das mulheres [65].....	46
Figura 4.23 – Exemplo <i>mechitza</i> , vista lado das mulheres [65].....	46
Figura 4.24 – Esquema do posicionamento mais comum dos sistemas de reforço electroacústico em locais de oração [49] .....	47
Figura 4.25 – Sistema de reforço electroacústico localizado por cima da Arca da Aliança na Congregação Sha'arey Zedek (Southfield, Michigan, EUA) [66].....	48
Figura 4.26 – Sistema de reforço electroacústico localizado por cima da Arca da Aliança na Congregação Beth El (Bloomfield Hills, Michigan, EUA) [67].....	48
Figura 4.27 – Sistema de reforço electroacústico localizado nas costas dos bancos [7] .....	49
Figura 4.28 – Sistema de reforço electroacústico localizado nas costas dos bancos [7] .....	49
Figura 4.29 – Sinagoga Shearith Israel (Nova Iorque, EUA) [69] .....	49
Figura 4.30 – Sinagoga Hampton (Westhampton Beach, Nova Iorque, EUA) [70] .....	50
Figura 5.1 – Localização da Sinagoga Mekor Haim (Porto) [72] .....	52
Figura 5.2 – Vista aérea da localização da Sinagoga Mekor Haim (Porto) [73] .....	52
Figura 5.3 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Fachada lateral (vista da Rua de Guerra Junqueiro) [Foto do Autor].....	53
Figura 5.4 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Entrada principal (vista da Rua de Guerra Junqueiro) [Foto do Autor].....	53
Figura 5.5 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Planta Piso -1 [Foto do Autor] .....	54

Figura 5.6 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Planta Piso 0 [Foto do Autor] .....	54
Figura 5.7 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Planta Piso 1 [Foto do Autor] .....	55
Figura 5.8 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Planta Piso 2 [Foto do Autor] .....	55
Figura 5.9 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Átrio [Foto do Autor] .....	55
Figura 5.10 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Museu Barros Basto (antiga biblioteca) [Foto do Autor].....	56
Figura 5.11 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Museu Barros Basto (antiga escola) [Foto do Autor] .....	56
Figura 5.12 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Átrio para visualização de filmes [Foto do Autor] .....	56
Figura 5.13 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Portas de ligação do átrio ao local de culto [Foto do Autor].....	57
Figura 5.14 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Zona de culto dos homens [Foto do Autor].....	57
Figura 5.15 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Interior do local de culto [Foto do Autor] .....	58
Figura 5.16 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Arca da Aliança [Foto do Autor] .....	58
Figura 5.17 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Interior do local de culto (vista superior) [Foto do Autor].....	58
Figura 5.18 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Disposição das cadeiras no piso dos homens [Foto do Autor].....	59
Figura 5.19 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Disposição das cadeiras nos balcões [Foto do Autor]...59	
Figura 5.20 – Fonte emissora da marca <i>Brüel &amp; Kjær</i> , modelo 4224 [Foto do Autor].....	60
Figura 5.21 – Sonómetro da marca <i>Brüel &amp; Kjær</i> , modelo 2260 [Foto do Autor] .....	61
Figura 5.22 – Localização da fonte emissora (F) e dos oito pontos de medição do tempo de reverberação no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	62
Figura 5.23 – Localização da fonte emissora (F) no piso térreo e dos três pontos de medição do tempo de reverberação no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	62
Figura 5.24 – Valores do Tempo de Reverberação obtidos nas oito posições no piso destinado aos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	64
Figura 5.25 – Valores do Tempo de Reverberação obtidos nas três posições no piso destinado às mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	64
Figura 5.26 – Valores médios do Tempo de Reverberação nos pisos destinados aos homens e às mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	65
Figura 5.27 – Tempo de Reverberação ideal em função do volume. Os valores ideais para as Sinagogas situam-se na zona a sombreado [74] .....	65
Figura 5.28 – Tempo de Reverberação ideal em função do volume, para a frequência dos 500 Hz para diferentes tipos de salas, considerando uma ocupação de dois terços [75].....	66
Figura 5.29 – Fonte emissora RASTI da marca <i>Brüel &amp; Kjær</i> , modelo 4425 [Foto do Autor] .....	67
Figura 5.30 – Receptor RASTI da marca <i>Brüel &amp; Kjær</i> , modelo 4419 [Foto do Autor] .....	67

Figura 5.31 – Localização da fonte emissora de RASTI (cf. Fig. 5.33) [Foto do Autor].....	68
Figura 5.32 – Localização da fonte emissora de RASTI (cf. Fig. 5.33) [Foto do Autor].....	68
Figura 5.33 – Localização da fonte emissora (F) e dos nove pontos de medição do RASTI no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	69
Figura 5.34 – Localização da fonte emissora (F) no piso térreo e dos três pontos de medição do RASTI no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	69
Figura 5.35 – Linhas de igual RASTI no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	71
Figura 5.36 – Valores de RASTI obtidos em várias posições nos pisos destinado aos homens e às mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	71
Figura 5.37 – Separação por zonas (I, II e III) dos pontos de medição do RASTI no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	72
Figura 5.38 – Valores médios de RASTI por zonas no piso destinado aos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	72
Figura 5.39 – Medições dos níveis sonoros do ruído de fundo com sonómetro da marca <i>Brüel &amp; Kjær</i> , modelo 2260 [Foto do Autor].....	73
Figura 5.40 – Localização dos três pontos de medição dos níveis sonoros do ruído de fundo no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	73
Figura 5.41 – Localização dos dois pontos de medição dos níveis sonoros do ruído de fundo no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	74
Figura 5.42 – Níveis de pressão sonora (ruído de fundo – tráfego) médios do piso de culto dos homens e das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	75
Figura 5.43 – Níveis sonoros médios com aplicação do filtro A (ruído de fundo – tráfego) do piso de culto dos homens e das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	76
Figura 5.44 – Método <i>Noise Criteria</i> aplicado ao ruído de fundo (tráfego) no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	77
Figura 5.45 – Método <i>Noise Criteria</i> aplicado ao ruído de fundo (tráfego) no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	77
Figura 5.46 – Método <i>Noise Rating</i> aplicado ao ruído de fundo (tráfego) no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	78
Figura 5.47 – Método <i>Noise Rating</i> aplicado ao ruído de fundo (tráfego) no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	79
Figura 6.1 – Valores médios do Tempos de Reverberação nas frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz) nas várias Igrejas Católicas escolhidas para comparação .....	85
Figura 6.2 – Valores médios do Tempos de Reverberação nas frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz) nas várias Igrejas Católicas escolhidas para comparação e na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	86
Figura 6.3 – Valores médios de RASTI nas várias Igrejas Católicas escolhidas e na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	87



Figura 6.4 – Valores médios do Tempos de Reverberação das Mesquitas da Arábia Saudita e da Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	89
Figura 6.5 – Valores médios de RASTI nas várias Mesquitas escolhidas e na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	90
Figura 7.1 – Comportamento em frequência dos três tipos de materiais e sistemas absorventes [2] ..	94
Figura 7.2 – Esquema de variação dos coeficientes de absorção sonora para ressoadores onde se verifica o efeito da inclusão de material absorvente sonoro na caixa-de-ar (linha a tracejado) [2] .....	95
Figura 7.3 – Esquema básico de um ressoador de Helmholtz [6] .....	95
Figura 7.4 – Ressoadores agrupados – painéis perfurados de madeira [83] .....	96
Figura 7.5 – Variação dos valores do Tempo de Reverberação previstos em função da solução tipo e taxa de ocupação da Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	102



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Expressões para conversão de algumas grandezas em nível e respectivos valores de referência [adaptado de 2].....	6
Quadro 2.2 – Frequências centrais das bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava [Adaptado de 2] .....	8
Quadro 2.3 – Valores numéricos das ponderações da curva A para as bandas de frequência de 1/1 e 1/3 de oitava na gama do audível [2].....	10
Quadro 2.4 – Exemplo de ordenadas da curva de referência móvel do método do $\alpha_w$ [adaptado de 2] .....	11
Quadro 2.5 – Classes de absorção sonora – método $\alpha_w$ [adaptado de 2].....	12
Quadro 2.6 – Valores de Tempo de Reverberação recomendados para diferentes espaços [adaptado de 3] .....	15
Quadro 2.7 – Conversão do parâmetro RASTI numa escala subjectiva de inteligibilidade da palavra [17] .....	17
Quadro 2.8 – Valores máximos recomendados para curvas <i>NC</i> para diferentes situações [adaptado de 2] .....	19
Quadro 2.9 – Valores máximos recomendados para curvas <i>NR</i> para diferentes situações [adaptado de 20 e 21] .....	19
Quadro 5.1 – Valores do Tempo de Reverberação medidos no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	63
Quadro 5.2 – Valores do Tempo de Reverberação medidos no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	63
Quadro 5.3 – Comparação dos valores médios do Tempo de Reverberação ideais com os valores medidos e previstos na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	66
Quadro 5.4 – Valores de RASTI medidos no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	70
Quadro 5.5 – Valores de RASTI medidos no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	70
Quadro 5.6 – Níveis de pressão sonora (ruído de fundo – tráfego) medidos no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	74
Quadro 5.7 – Níveis de pressão sonora (ruído de fundo – tráfego) medidos no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	75
Quadro 5.8 – Níveis de pressão sonora (ruído de fundo – tráfego) médios do piso de culto dos homens e das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto).....	75
Quadro 5.9 – Níveis sonoros médios com aplicação do filtro A (ruído de fundo – tráfego) do piso de culto dos homens e das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	76
Quadro 5.10 – Comparação dos valores médios do Tempo de Reverberação ideais com os valores medidos e previstos na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	79

Quadro 6.1 – Caracterização das Igrejas Católicas escolhidas para comparação com a Sinagoga Mekor Haim (Porto) e respectivos valores médios de TR (s) para as frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz) e RASTI [17, 79] .....	84
Quadro 6.2 – Identificação do estilo arquitectónico das Igrejas Católicas escolhidas para comparação com a Sinagoga Mekor Haim (Porto) [adaptado de 17 e 80] .....	84
Quadro 6.3 – Valores recomendados para Tempo de Reverberação e RASTI relativamente ao objectivo de qualidade acústica para palavra e para a música [adaptado de 79] .....	85
Quadro 6.4 – Caracterização das Mesquitas escolhidas para comparação com a Sinagoga Mekor Haim (Porto) e respectivos valores médios de TR (s) para as frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz) e RASTI [1] .....	88
Quadro 6.5 – Valores do Tempo de Reverberação médio em cada grupo de Mesquitas da Arábia Saudita [adaptado de 1] .....	89
Quadro 6.6 – Valores médios do Tempo de Reverberação para as frequências médias de 500 Hz e 1.000 Hz e de RASTI das Igrejas escolhidas para comparação (com 1 erro-padrão) e da Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	90
Quadro 6.7 – Valores médios do Tempo de Reverberação para as frequências médias de 500 Hz e 1.000 Hz e de RASTI das Mesquitas consideradas para comparação e da Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	91
Quadro 7.1 – Valores do coeficiente de absorção sonora da solução tipo <i>K-13</i> para cada banda de frequência em função da espessura e tipo de textura [adaptado de 84] .....	99
Quadro 7.2 – Valores do coeficiente de absorção sonora da solução tipo <i>SonaKrete</i> para cada banda de frequência em função da espessura [adaptado de 85] .....	99
Quadro 7.3 – Valores do coeficiente de absorção sonora da solução tipo <i>Baswaphon</i> para cada banda de frequência em função da espessura [adaptado de 86] .....	100
Quadro 7.4 – Valores previstos do Tempo de Reverberação médio para cada banda de frequência e para as frequências médias de 500 e 1.000 Hz na Sinagoga Mekor Haim (Porto) após correcção acústica com solução tipo <i>SonaKrete</i> .....	100
Quadro 7.5 – Valores previstos do Tempo de Reverberação médio para cada banda de frequência e para as frequências médias de 500 e 1.000 Hz na Sinagoga Mekor Haim (Porto) após correcção acústica com solução tipo <i>K-13</i> .....	101
Quadro 7.6 – Valores previstos do Tempo de Reverberação médio para cada banda de frequência e para as frequências médias de 500 e 1.000 Hz na Sinagoga Mekor Haim (Porto) após correcção acústica com solução tipo <i>Baswaphon</i> .....	101
Quadro 7.7 – Valores previstos do Tempo de Reverberação médio para cada banda de frequência para quatro soluções tipo com a sala vazia e com ocupação de 25% da lotação .....	102
Quadro 7.8 – Valores por m <sup>2</sup> e custo total de aplicação das quatro soluções tipo .....	103
Quadro 8.1 – Quadro resumo dos valores médios medidos na Sinagoga Mekor Haim (Porto) .....	106

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$\alpha$	– Coeficiente de absorção sonora
$\alpha_w$	– Coeficiente de absorção sonora ponderado e ajustado
$\Delta L$	– Variação do nível de pressão sonora [dB]
$\Delta L_A$	– Variação do nível sonoro [dB]
$\Delta TR$	– Variação do tempo de reverberação [s]
$\Delta RASTI$	– Variação do RASTI
$\lambda$	– Comprimento de onda [m]
$\theta$	– Temperatura do ar [°C]
$\%AL_{cons}$	– Percentagem de perda de consoantes
$A$	– Área de absorção sonora equivalente [m <sup>2</sup> ]
$A'$	– Amplitude [Pa]
$c$	– Celeridade [m/s]
$C_{50}$	– Claridade [dB, base 50 ms]
$D_{50}$	– Definição [base 50 ms]
$D_c$	– Distância crítica [m]
$E$	– Emissor (Fonte Sonora)
$f$	– Frequência [Hz]
$f_0$	– Frequência central de banda [Hz]
$f_1$	– Frequência limite inferior de banda [Hz]
$f_2$	– Frequência limite superior de banda [Hz]
$G$	– Acréscimo de Intensidade Sonora [dB]
$H_{máx}$	– Altura máxima [m]
$I$	– Intensidade sonora [W/m <sup>2</sup> ]
$I_0$	– Intensidade sonora de referência [W/m <sup>2</sup> ]
$K$	– Constante que toma o valor de 1 ou 1/3 consoante a banda de frequência ser 1 ou 1/3
$L_A$	– Nível sonoro [dB]
$L_D$	– Nível de campo directo [dB]
$L_I$	– Nível de intensidade sonora [dB]
$L_P$	– Nível de pressão sonora [dB]
$L_R$	– Nível de campo reverberante [dB]
$L_W$	– Nível de potência sonora [dB]

NC – *Noise Criteria*

NRC – *Noise Reduction Coefficient*

P – Pressão sonora [Pa]

$P_0$  – Pressão sonora de referência [Pa]

$P_t$  – Pressão sonora total [Pa]

Q – Coeficiente de direccionalidade

r – Distância à fonte [m]

R – Constante relacionada com a capacidade de absorção das superfícies

RASTI – *Rapid Speech Transmission Index*

RF – Ruído de fundo [dB]

S – Área [m<sup>2</sup>]

STI – *Speech Transmission Index*

t – Tempo [s]

T – Período [s]

TR – Tempo de reverberação [s]

$TR_{500,1kHz}$  – Média entre TR (500 Hz) e TR (1000 Hz)

V – Volume [m<sup>3</sup>]

W – Potência sonora [W]

$W_0$  – Potência sonora de referência [W]

A/C – Ar condicionado

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

B&K – Brüel & Kjaer

EUA – Estados Unidos da América

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

As sinagogas podem ter uma arquitectura extremamente diversificada e isto não se cinge apenas ao local de culto. Estas tanto podem ser construídas de raiz como serem adaptadas dentro de um edifício já existente, pelo que aumentam ainda mais as diferenças entre as várias sinagogas existentes.

Relativamente ao local de culto, independentemente da sua forma e dimensão, há algo que é sem dúvida de extrema importância (tal como na maior parte dos locais de culto) que é a inteligibilidade da palavra. Esta deve ser elevada para que todas as pessoas presentes nos momentos de oração sejam capazes de perceber o que está a ser dito, pelo que um bom comportamento acústico deve ser tido sempre em atenção.

Em Portugal existem poucas sinagogas sendo as mais conhecidas a de Lisboa, Porto, Belmonte, Ponta Delgada e a de Tomar que foi convertida em museu.

Não havendo estudos acústicos relativos a sinagogas existentes em Portugal, esta dissertação tem como objectivo iniciá-lo e impulsionar o interesse pelo estudo acústico nestes locais de culto.

A Sinagoga Mekor Haim, situada no Porto, é a sinagoga onde será feito um estudo de caso através da sua caracterização acústica. Para realização desta caracterização são realizadas medições *in situ* de tempo de reverberação, do ruído de fundo existente na sala e do RASTI. Esta análise é feita na sala de culto ao nível do piso térreo, local de culto dos homens, e ao nível do piso superior, local de culto das mulheres. Além desta análise objectiva da acústica da Sinagoga Mekor Haim, irá também haver uma breve análise subjectiva tendo por base as informações obtidas por Jorge Neves, Vice-Presidente da Comunidade Israelita do Porto.

Após o tratamento dos dados obtidos através das medições *in situ*, compara-se com alguns resultados obtidos em igrejas católicas portuguesas e mesquitas de volumetria semelhante.

As informações recolhidas relativamente a igrejas católicas portuguesas fazem parte dos estudos realizados para o programa de Investigação em Acústica de Igrejas, liderado pelo Professor Doutor A. P. Oliveira de Carvalho.

As informações recolhidas relativamente às mesquitas têm por base o trabalho “*Measurement of acoustical characteristics of mosques in Saudi Arabia*” de Adel Abdou. [1]

## 1.2. ESTRUTURA

A presente dissertação encontra-se dividida em oito capítulos:

- O primeiro capítulo pretende apresentar os objectivos do trabalho;
- O segundo capítulo tem como objectivo apresentar e esclarecer todos os conceitos acústicos que serão aplicados ao longo da caracterização acústica;
- O terceiro capítulo serve para realizar um enquadramento histórico da religião judaica e dos seus princípios;
- O quarto capítulo faz referência à acústica nas sinagogas, com a apresentação dos objectivos acústicos específicos associados às sinagogas para as várias ramificações do judaísmo;
- O quinto capítulo é dedicado exclusivamente à Sinagoga Mekor Haim (Porto), à sua história, à sua arquitectura, aos ensaios *in situ* realizados neste local bem como aos seus resultados;
- O sexto capítulo tem como objectivo fazer uma comparação entre a Sinagoga Mekor Haim (Porto), algumas igrejas católicas portuguesas e mesquitas, com volumetria semelhante;
- O sétimo capítulo apresenta algumas sugestões para melhoramento do comportamento acústico da sinagoga em estudo, tendo por base os resultados obtidos e apresentados no capítulo quarto;
- O oitavo capítulo finaliza a dissertação e apresenta as conclusões que dela foram possíveis de retirar, bem como alguns elementos que poderiam ter sido introduzidos por forma a complementar a análise realizada mas que, por condicionalismos de tempo, não foram abordados.



# 2

## A ACÚSTICA

### 2.1. INTRODUÇÃO

A Acústica é o ramo da Física onde se estuda as ondas sonoras. Hoje em dia pode ser subdividida em diversas áreas, abrangendo quase todas as áreas do conhecimento. No entanto, os ramos mais antigos da Acústica estão ligados à música ou à análise filosófica da origem e propagação do som. [2]

Esta “ciência” até aos finais do século XIX era inexacta existindo teorias pouco fundamentadas e sem base científica que a tentavam desmitificar. Uma das teorias baseava-se na crença que a acústica de uma sala de concertos melhorava com o passar do tempo. A obtenção de uma acústica adequada ao tipo de sala dependia fundamentalmente do intuito, da experiência e fundamentalmente da sorte da escolha das formas e dos materiais construtivos. Havia mesmo compositores que compunham as suas músicas para serem tocadas em recintos específicos. Basicamente em vez da sala estar adequada ao tipo de música era a música que se adequava à sala em questão. [3]

Em 1877 o físico inglês Lord Rayleigh publicou um livro com o título *Theory of Sound* [4] que ainda nos dias de hoje serve de referência. Este livro incluiu fundamentos teóricos da acústica com explicações sobre a acústica das salas. [2, 3]

Apesar do arquitecto romano Vitruvius ter sido o primeiro a escrever sobre a conjugação dos conceitos arquitectónicos com os conceitos acústicos<sup>1</sup>, a acústica dos edifícios, tal como é conhecida hoje em dia, só teve início no princípio do século XX, com o físico W. C. Sabine.

Em 1895, Wallace Clement Sabine, Professor do Departamento de Física da Universidade de Harvard, EUA, desenvolveu o seu trabalho de aplicação da acústica na arquitectura. O seu estudo nesta área iniciou-se quando o reitor da universidade pediu que tratasse da péssima acústica de uma das salas. Apesar dos meios arcaicos disponíveis conseguiu tratar a sala acusticamente e, logo após este estudo, foi encarregue de tratar da acústica do *Boston Symphony Hall* a ser construído. E foi a rever os dados que tinha compilado para o estudo anterior que descobriu que a reverberação de um recinto era inversamente proporcional à quantidade de absorção sonora do mesmo. Foi assim que surgiu a famosa “Fórmula de Sabine”. [3]

Em 1919 surgiram equipamentos eléctricos como o microfone, amplificadores a válvulas e altifalantes. Posteriormente com o desenvolvimento dos equipamentos de medição electrónicos foi possível desenvolver correlações entre uma série de parâmetros subjectivos como a inteligibilidade da palavra, a claridade e a reverberação a partir de medições efectuadas *in situ*. A evolução tecnológica hoje possibilita a previsão de determinados comportamentos a partir de modelos de escala e programas

---

<sup>1</sup> Obra “*De Architectura*”

informáticos, no entanto, ambos apresentam limitações. Para colmatar esta falha no final da década de 1990 apareceram os sistemas de criação de som virtuais denominados por auralização. Estes permitem escutar por intermédio de altifalantes ou de auriculares (preferível) a mensagem em qualquer ponto do recinto de forma virtual. Esta evolução permitiu um avanço na aplicação da acústica durante a fase de projecto ajudando na tomada de decisões e na caracterização de espaços existentes através da previsão de parâmetros acústicos com base na forma e nos materiais constituintes. [3, 5]

A Acústica de Edifícios é o ramo da Acústica que se preocupa com a localização, construção e organização dos edifícios em termos de evitar, ou pelo menos minimizar, os inconvenientes resultantes de um ambiente acústico inadequado. [5]

## 2.2. NOÇÕES BASE

### 2.2.1. PROPAGAÇÃO DO SOM E OS CONCEITOS DE SOM E RUÍDO

O som corresponde a alterações de pressão provocadas por uma vibração mecânica que se propaga através de um meio material elástico e denso sob a forma de ondas esféricas concêntricas capazes de provocar no cérebro após captação, uma sensação de som. [2]

A geração do som acontece quando a fonte sonora (elemento que origina o som) entra em vibração sendo esta transmitida às partículas adjacentes sucessivamente. As partículas não mudam de posição com a vibração simplesmente oscilam em torno da sua posição de equilíbrio. Assim, criam-se zonas de compressão e rarefacção de moléculas que se propagam no espaço (Figura 2.1). [2, 6]

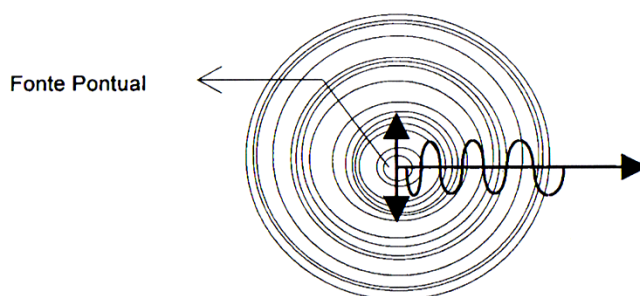


Figura 2.1 – Oscilação na propagação do som [2]

Se o resultado das vibrações captadas pelo ouvido e posteriormente interpretado pelo cérebro for agradável ou tiver significado auditivo estamos perante um exemplo de *Som*. Caso o resultado seja desagradável ou sem sentido auditivo estamos perante um exemplo de *Ruído*. A definição de som e ruído para cada pessoa pode ser diferente pois baseia-se em conceitos subjectivos, como é o caso dos gostos pessoais de cada pessoa. Deste modo, o que para algumas pessoas pode ser considerado de som, para outras pode ser considerado de ruído, conforme cada pessoa goste ou não daquilo que está a captar. [2]

O estudo dos sons e dos ruídos nas situações práticas mais correntes pode ser realizado sob três domínios de análise distintos mas complementares, como é o caso da pressão, frequência e tempo.

### 2.2.2. PRESSÃO SONORA

As vibrações que são interpretadas como sons ou ruídos são causadas pela variação da pressão no meio de propagação. Assim, a variação de pressão é o elemento mais importante a ser medido, sendo esta variação analisada em relação à pressão de referência que é a pressão atmosférica normal,  $P_0$ , que tem um valor aproximado de 101.400 Pa. ( $\approx 10^5$  Pa). O ouvido humano consegue detectar variações de pressão desde cerca de  $10^{-5}$  Pa (limiar da audição) até aproximadamente 100 Pa (limiar da dor). [2]

A lei geral de propagação das ondas de pressão sonora num meio homogéneo, isotrópico, sem viscosidade e em repouso, pode ser deduzida e escrita de forma matematicamente exacta através da conjugação dos princípios fundamentais da mecânica (Equação 2.1). [2]

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.1)$$

A variação da pressão sonora está também dependente da celeridade ou velocidade de propagação das ondas no meio,  $c$  (m/s), que varia com a temperatura e pressão atmosférica. A Equação 2.2, válida para ar seco e ao nível do mar, apresenta a variação da celeridade em função da temperatura. [2, 7]

$$c = 20,045 \cdot \sqrt{273,15 + \theta(^{\circ}C)} \quad (2.2)$$

### 2.2.3. INTENSIDADE E POTÊNCIA SONORA

A intensidade sonora,  $I$ , é, numa dada direcção, a quantidade média de energia que atravessa por segundo uma área de um  $m^2$  normal a essa direcção. Permite avaliar a componente direccional do som passando este a ser representado por uma grandeza vectorial e é quantificada em  $W/m^2$ . [2]

A potência sonora,  $W$ , é uma característica intrínseca da fonte, e caracteriza-se como sendo a energia total que atravessa uma esfera fictícia de raio qualquer centrada na fonte por segundo. A potência sonora é quantificada em  $W$ . [2]

A relação entre a intensidade e potência sonora é apresentada na Equação 2.3, tendo em consideração que estas grandezas também estão dependentes da distância à fonte,  $r$  (m).

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.3)$$

É possível através da análise da Equação 2.2 verificar que com o aumento da distância à fonte para o dobro, e mantendo a mesma fonte sonora, a intensidade passa a ser um quarto da anterior. A esta diferença de intensidades está associada uma redução do nível de intensidade sonora de 6 dB, também conhecida por atenuação por divergência geométrica. [2, 7, 8]

#### 2.2.4. NÍVEIS

A escala de decibel (dB) é utilizada para expressar de uma forma mais conveniente um intervalo muito alargado de medições, que através do uso de escalas lineares conduziria a valores muito díspares e sem grande aplicação prática. É uma escala logarítmica, com muita utilidade sempre que se deseje avaliar o nível de alguma quantidade face a um valor de referência, além de que (na acústica) a resposta fisiológica (sensibilidade) humana também se aproxima desta conversão. [2, 7]

No caso do estudo acústico em que estão envolvidos os seres humanos, a escala vai de 0 dB (limiar da audição) até aproximadamente 130 dB (limiar da dor). [7]

No Quadro 2.1 são apresentadas as expressões para conversão de algumas grandezas em níveis, assim como os valores de referência para cada grandeza.

A soma de níveis, independentemente do tipo, não se faz de forma algébrica mas sim unicamente pressões quadráticas, designada por soma energética. [2]

Quadro 2.1 – Expressões para conversão de algumas grandezas em nível e respectivos valores de referência  
[adaptado de 2]

Grandeza	Expressão para conversão [dB]	Valor de referência
Pressão Sonora	$L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right)$	$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$
Intensidade Sonora	$L_I = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$	$I_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$
Potência Sonora	$L_W = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_0}\right)$	$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$

#### 2.2.5. FREQUÊNCIA

A segunda mais importante característica quando se pretende descrever um sinal sonoro é a frequência,  $f$ , medida em Hz. [2, 7]

O ouvido humano detecta sons com frequências aproximadamente entre os 20 Hz e os 20.000 Hz. Os sons com frequências abaixo dos 20 Hz são denominados de infra-sons, enquanto que os sons com frequências acima dos 20.000 Hz de ultra-sons. É usual o intervalo de frequências audíveis pelo ouvido humano ser dividido em três grandes zonas de frequências: as frequências graves (20 a 355 Hz), as frequências médias (355 a 1.410 Hz) e as frequências agudas (1.410 a 20.000 Hz). [2, 7, 9]

Os sons podem ser classificados em dois tipos, isto é, como sendo puro ou simples, ou complexo ou composto. Os sons puros estão associados a uma componente única a nível de frequência, enquanto que um som complexo resulta da sobreposição de dois ou mais sons puros (Figura 2.2). [2, 9]

A caracterização de qualquer ruído, para ser realizada de forma adequada, deve ter em conta o uso dos dois domínios da análise: a pressão e a frequência. [2]

As frequências são agrupadas em bandas com o objectivo a simplificar a análise através das frequências, uma vez que a análise por cada frequência seria muito trabalhosa. As bandas de

frequência correspondem a intervalos de frequência com dimensões normalizadas. As larguras de banda frequentemente mais utilizadas na Acústica de Edifícios são as de 1/1 oitava e 1/3 de oitava. [2]

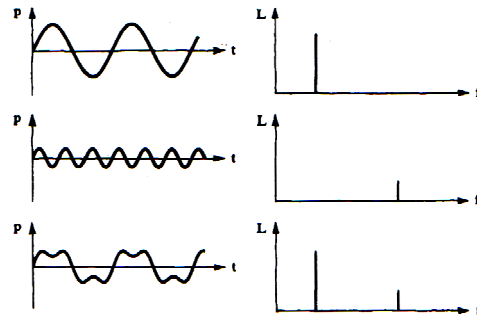


Figura 2.2 – Oscilogramas (à esquerda) e espectrograma (à direita) de dois sons puros e a soma destes (som complexo ou composto) [2]

A largura de banda corresponde à diferença entre os valores numéricos dos limites superiores e inferiores. Os limites podem ser calculados pelas Equações 2.4 e 2.5, sendo  $f_1$  a frequência correspondente ao limite inferior da banda,  $f_2$  a frequência correspondente ao limite superior e  $f_0$  o valor médio, também denominado por frequência central. O valor de  $K$  varia entre 1 e 1/3 consoante a banda seja de 1/1 oitava ou de 1/3 de oitava respectivamente. [2]

$$f_1 = f_0 \cdot 2^{-K/2} \quad (2.4)$$

$$f_2 = f_0 \cdot 2^{K/2} \quad (2.5)$$

Os intervalos de 1/1 oitava e de 1/3 de oitava normalizados para o domínio audível são apresentados no Quadro 2.2. Os valores apresentados correspondem à frequência central comumente designados de valores nominais das bandas. Encontram-se destacados a sombreado as bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava utilizadas habitualmente na acústica de edifícios de acordo com as normas EN ISO 140 [10].

Na Figura 2.3 é apresentado um exemplo de um espectro sonoro de um mesmo ruído em bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava. Os níveis de pressão sonora de bandas de 1/1 oitava ou 1/3 de oitava são obtidos através da soma logarítmica dos níveis de pressão sonora das frequências constituintes da banda em análise. [2]

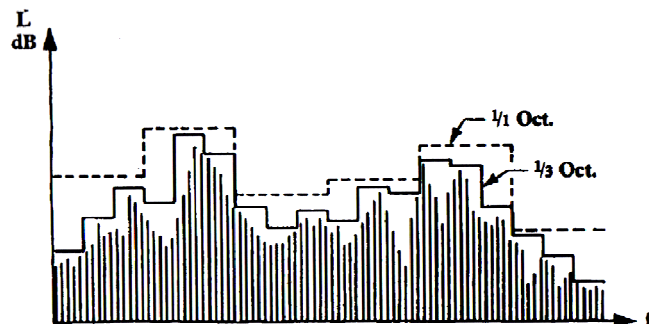


Figura 2.3 – Espectro de um ruído em bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava [2]

Quadro 2.2 – Frequências centrais das bandas de 1/1 oitava e 1/3 de oitava [Adaptado de 2]

Zona de Frequência	Banda [Hz]	
	1/1 oitava	1/3 oitava
Graves	16	20
		25
	31	31
		40
		50
	63	63
		80
		100
	125	125
		160
Médias		200
	250	250
		315
		400
	500	500
		630
		800
	1.000	1.000
		1.250
		1.600
Agudas	2.000	2.000
		2.500
		3.150
	4.000	4.000
		5.000
		6.300
	8.000	8.000
		10.000
		12.500
	16.000	16.000
		20.000

### 2.2.6. CURVAS DE PONDERAÇÃO

O ouvido humano não tem a mesma percepção para todas as frequências, sendo mais sensível nas frequências na zona dos 2.300 aos 2.800 Hz e muito pouco sensível nas frequências inferiores aos 125 Hz. A variação da sensibilidade depende também da intensidade sonora do próprio som. [2, 7]

Existem as curvas de igual percepção subjectiva da intensidade sonora que são escalonadas numa unidade designada por *fone*, que toma o valor numérico do respectivo nível de pressão sonora nos 1.000 Hz, conforme a norma ISO 226:2003 [11]. [2, 5, 9]

Os equipamentos que registam de uma forma geral as pressões sonoras, registam-nas com igual sensibilidade independentemente da frequência. Assim, para exprimir o caso particular do ouvido humano e analisar a real e subjectiva sonoridade de um ruído é necessário efectuar algumas correcções. Com esta necessidade foram criados filtros electrónicos nos aparelhos de medida que corrigem os valores medidos. As curvas que representam as correcções em função das frequências são designadas de curvas de ponderação e são apresentadas na Figura 2.4. [2]

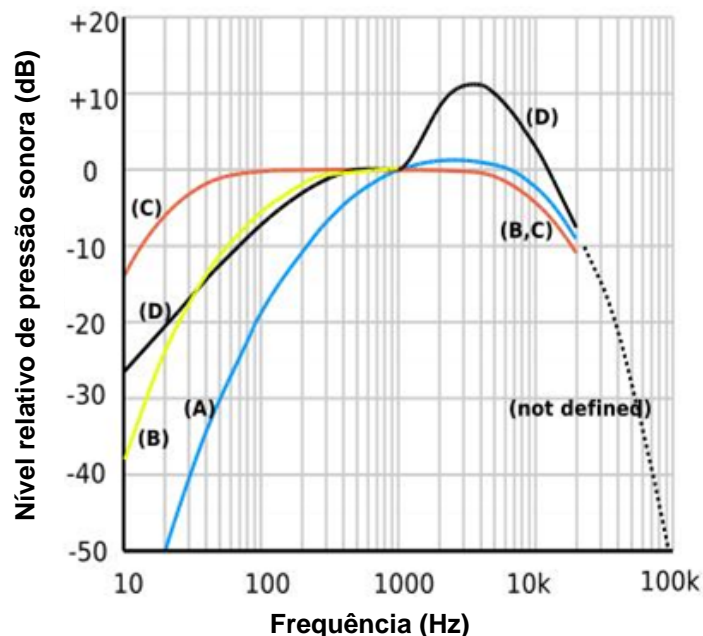


Figura 2.4 – Curvas de ponderação A, B, C e D [12]

A curva mais utilizada é a Curva (ou Filtro) A. Os filtros B e C são semelhantes ao filtro A mas utilizados para ruídos mais intensos, no entanto com o cair em desuso do filtro B e C, o filtro A tornou-se quase universalmente aceite. Já o filtro D tem uma utilização especial, só para ruídos de aviões. [2, 5, 7]

O nível sonoro em dB(A) é obtido através da adição algébrica dos valores medidos com os valores das ponderações do Quadro 2.3 e posterior adição logarítmica dos valores obtidos. Deste modo, qualquer ruído pode ser representado por um espectro de valores de níveis de pressão sonora em dB, e/ou por um valor global do nível de pressão sonora em dB e/ou do nível sonoro em dB(A). [2]

Quadro 2.3 – Valores numéricos das ponderações da curva A para as bandas de frequência de 1/1 e 1/3 de oitava na gama do audível [2]

Banda de Frequência [Hz]	Ponderação A para 1/3 oitava	Ponderação A para 1/1 oitava	Banda de Frequência [Hz]	Ponderação A para 1/3 oitava	Ponderação A para 1/1 oitava
25	-44,7	-40	800	-0,8	0
31	-39,4		1.000	0	
40	-34,6		1.250	0,6	
50	-30,2	-26	1.600	1,0	+1
63	-26,2		2.000	1,2	
80	-22,5		2.500	1,3	
100	-19,1	-15,5	3.150	1,2	+1
125	-16,1		4.000	1	
160	-13,4		5.000	0,5	
200	-10,9	-8,5	6.300	-0,1	-1
250	-8,6		8.000	-1,1	
315	-6,6		10.000	-2,5	
400	-4,8	-3	12.500	-4,3	-7
500	-3,2		16.000	-6,6	
630	-1,9		20.000	-9,3	

#### 2.2.7. ABSORÇÃO SONORA

A absorção sonora é a propriedade que certos materiais possuem de poderem transformar parte da energia sonora que sobre eles incide noutro qualquer tipo de energia, usualmente energia térmica. [2, 8]

A absorção sonora permite reduzir as reflexões das ondas sonoras diminuindo assim a reverberação de um determinado espaço. Esta propriedade também é considerada quando se pretende reduzir os níveis sonoros em espaços muito ruidosos, assim como otimizar as condições acústicas das salas para diversos tipos de uso. [3, 7]

O coeficiente de absorção sonora,  $\alpha$ , é a relação existente entre a quantidade de energia sonora que é absorvida por um determinado material e aquela que sobre ele incide. O valor do coeficiente de absorção sonora de um determinado material varia com o ângulo de incidência e com a frequência do som incidente, variando assim entre 0 e 1, sendo o 0 quando nenhuma da energia incidente é absorvida (materiais reflectores) e 1 quando a totalidade da energia incidente é absorvida. Considera-se que um material é “absorvente” quando apresenta um coeficiente de absorção sonora superior a 0,5. [2]



Existem outros parâmetros que caracterizam a absorção sonora de um determinado material, como por exemplo o NRC (*Noise Reduction Coefficient*), que não é mais que a média aritmética dos coeficientes de absorção sonora para as frequências de 250, 500, 1.000 e 2.000 Hz, arredondado ao múltiplo de 0,05 mais próximo (Equação 2.6). Devido à forma como este parâmetro é determinado, diferentes materiais com diferentes propriedades de absorção poderão apresentar o mesmo valor de NRC, sendo isto, de certo modo, uma limitação. O facto de não serem consideradas frequências como por exemplo 125 e 4.000 Hz também se torna uma limitação, uma vez que a análise nas baixas e altas frequências fica mais limitada. [2, 3, 7]

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1.000} + \alpha_{2.000}}{4} \quad (2.6)$$

Um outro parâmetro utilizado para classificar as propriedades de absorção sonora dos materiais é denominado por  $\alpha_w$ , conforme a norma EN ISO 11654:1997 [13]. O parâmetro é obtido por ajuste ponderado de uma curva de referência usando as bandas de oitava dos 250 aos 4.000 Hz. Traça-se a curva dos valores de  $\alpha$  por banda de frequência e determina-se a soma dos desvios positivos entre uma curva de referência móvel (Quadro 2.4) e os valores reais. O valor de  $\alpha_w$  é o valor obtido para os 500 Hz na curva ajustada de modo a que a soma dos desvios positivos seja a mais elevada possível sem ultrapassar os 0,10 (em múltiplos de 0,05), acrescentando-se uma letra “indicadora de forma” sempre que o coeficiente de absorção medido exceda o do valor de referência em 0,25 ou mais. Assim, é classificado como baixo (L), médio (M) ou alto (H) conforme essa condição se verifique nas bandas 250/500 Hz, 1.000/2.000 Hz e 2.000/4.000 Hz, respectivamente. Esta norma também refere a atribuição de classes de absorção sonora, como se pode ver no Quadro 2.5. [2]

O coeficiente de absorção sonora de um determinado material pode ser determinado a partir de dois métodos diferentes e que se encontram normalizados. O método do tubo de ondas estacionários (ou tubo de Kundt), que tem como principais limitações o facto de só conseguir obter o coeficiente de absorção sonora referente unicamente a uma incidência perpendicular das ondas sonoras, e o método da câmara reverberante (EN ISO 354:2003) [14], que apresenta como desvantagem a necessidade de uma amostra com grandes dimensões (entre 10 a 12 m<sup>2</sup>) e também o facto de poder conduzir a valores fisicamente impossíveis de  $\alpha$  superiores a 1 para materiais altamente absorventes. [2]

Quadro 2.4 – Exemplo de ordenadas da curva de referência móvel do método do  $\alpha_w$  [adaptado de 2]

	Banda de Frequência [Hz]				
	250	500	1.000	2.000	4.000
<b>Valores para ajuste da curva de referência móvel</b>	0,80	1,00	1,00	1,00	0,90

Quadro 2.5 – Classes de absorção sonora – método  $\alpha_w$  [adaptado de 2]

Classe	$\alpha_w$
A	$\geq 0,90$
B	[0,80; 0,85]
C	[0,60; 0,75]
D	[0,30; 0,55]
E	[0,15; 0,25]
Não classificado	$\leq 0,10$

### 2.2.8. CAMPO DIRECTO E CAMPO REVERBERADO

Quando uma fonte emite num compartimento, o nível de pressão sonora em cada ponto é consequência de dois campos sonoros sobrepostos, um de energia variável e outro de energia constante com a distância à fonte sonora. O campo de energia variável diz respeito ao campo directo, isto é, com origem nas ondas directas que diminuem à medida que o receptor se afasta da fonte. O campo de energia constante diz respeito ao campo reverberado, isto é, com origem nas reflexões criadas no compartimento que posteriormente atingem o receptor. [2, 3, 7]

A Equação 2.7 traduz o nível de intensidade sonora perceptível num espaço, e que resulta da soma do nível de potência sonora da fonte ( $L_w$ ) com a parcela do campo directo e campo reverberado, sendo que o campo directo depende da distância à fonte ( $r$ ) e da direccionalidade da fonte sonora ( $Q$ ), que caso seja omnidireccional, isto é, caso emita com a mesma energia em todas as direcções,  $Q$  toma o valor de 1, ou de 2 caso a fonte omnidireccional seja colocada junto a uma superfície reflectora. O campo reverberado depende das condições de absorção sonora ( $R$ ) do espaço em questão. [2, 7]

Na Figura 2.5 é possível verificar a evolução do nível de pressão sonora em função da distância à fonte, com a linha decrescente a corresponder ao campo directo e depois a tender para um valor constante devido à preponderância do campo reverberado. Contudo, como a energia do campo reverberado não se encontra distribuída de forma ideal pelo espaço, esta parcela também tenderá a decrescer, mas a um ritmo muito mais reduzido, à medida que se afasta da fonte. [7]

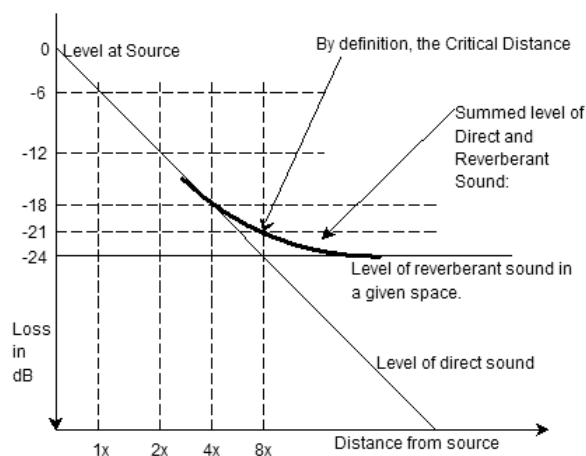


Figura 2.5 – Evolução do nível de pressão sonora com o aumento da distância à fonte com representação do campo directo (linha descendente) e do campo reverberado (linha horizontal) [15]

$$L_1(dB) = L_w + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{R}\right), \quad \text{sendo } R(m^2) = \frac{A}{(1-\bar{\alpha})} \quad (2.7)$$

### 2.2.9. PERCEPÇÃO DA PALAVRA

A inteligibilidade da palavra é uma característica acústica de grande importância nas salas destinadas a conferências, aulas, teatros, locais de oração, etc., na medida em que reflecte o entendimento das palavras por parte das pessoas num determinado espaço.

A inteligibilidade da palavra depende não só das características físicas do espaço em si, mas também das características da voz do orador. [7]

A variabilidade da emissão da voz pode ser analisada sobre quatro pontos de vista diferentes: frequência, intensidade, duração e direccionalidade. [2]

Relativamente à frequência de emissão, os sons utilizados nas palavras possuem um intervalo de frequências muito alargado, podendo ir desde as frequências dos 150 – 300 Hz para sons da vogal *u*, por exemplo, até frequências na ordem dos 3.500 – 7.000 Hz, para sons da consoante *s*. [2]

O nível de pressão sonora de emissão pode diferenciar cerca de 28 dB entre consoantes e vogais, sendo estas últimas emitidas com um nível de pressão sonora mais elevado. [2]

No geral, a duração das consoantes é mais reduzida que a das vogais, sendo as vogais emitidas com uma duração média de 90 ms e as consoantes com cerca de 20 ms. [2]

Em relação à direccionalidade de emissão, a voz humana emite preferencialmente para a frente do orador mas com variabilidade direccional em função da frequência (Figura 2.6). É possível verificar que as altas frequências possuem uma variabilidade em relação à direcção muito maior que as baixas frequências. [2]

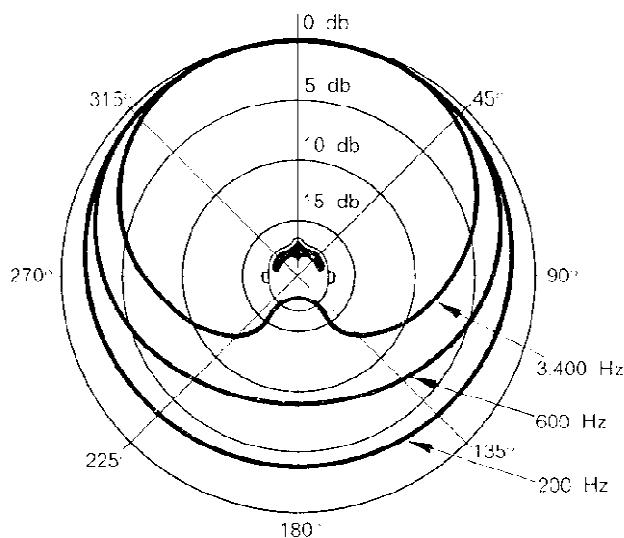


Figura 2.6 – Variação em relação à direcção da voz humana em função da frequência [8]

As condições acústicas do local também devem ser tidas em conta, com tempos de reverberação reduzidos e evitando que existam reflexões denominadas de ecos, que são reflexões que chegam suficientemente atrasadas (após 50 ms) mas suficientemente fortes para serem claramente

distinguíveis pelo ouvido humano. O parâmetro acústico denominado *Definição* ( $D_{50}$ ) é uma das formas objectivas de caracterizar a percepção da palavra e consiste na razão entre a energia recebida nos primeiros 50 ms e a energia total recebida. [2, 7]

O ruído de fundo também influencia a percepção da palavra num determinado espaço pois este tende a mascarar o som, assim é importante que o ruído proveniente do exterior da sala, como dos sistemas de ventilação seja o mais reduzido possível. [2, 7]

## 2.3. PARÂMETROS ACÚSTICOS

### 2.3.1. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

As ondas sonoras criadas num compartimento em que exista uma fonte sonora podem ser de origem directa ou reflectida. As ondas directas atingem o receptor após um percurso em linha recta desde a fonte sonora, enquanto que as ondas reflectidas chegam ao receptor após reflexões (que podem ser únicas ou múltiplas) nas superfícies existentes na sala. [2]

As ondas directas são acompanhadas por uma sequência de ondas reflectidas (ou reverberadas) que chegam sucessivamente ao ouvido do receptor, tornando-se cada vez mais fracas devido às absorções a que estão sujeitas, quer pelo efeito de absorção do ar, quer pela absorção das superfícies aquando das diversas reflexões. [2]

Tempo de reverberação é o intervalo de tempo, medido em segundos, que um qualquer som demora a extinguir-se por completo, após múltiplas reflexões. Por definição é o tempo que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB desde que a fonte sonora para de emitir, ou seja, o intervalo de tempo que qualquer som demora a deixar de ser perceptível pelo ouvido humano. [2]

Muito raramente é medido o tempo de decaimento de 60 dB, uma vez que é usual o ruído de fundo sobrepor-se ao som emitido antes deste se “extinguir”. Deste modo, é usual medir-se o decaimento de 30 ou 20 dB extrapolando-se de seguida o resultado para um decaimento de 60 dB. Nestes casos o tempo de reverberação denomina-se de  $T_{30}$  ou  $T_{20}$  conforme se tenha registado um decaimento de 30 ou 20 dB respectivamente. [2]

A medição deste parâmetro é realizada com recurso a um sonómetro e a uma fonte sonora com capacidade de emitir uma energia suficientemente potente em todo o espectro de frequências de interesse para assegurar um decaimento suficientemente forte acima do ruído de fundo. [2]

O tempo de reverberação num espaço pode ser favorável na medida e que aumenta o nível sonoro através do acréscimo do som reflectido ao som directo, como também pode ser desfavorável, uma vez que o som reflectido pode-se sobrepor ao som directo por forma a mascará-lo. Assim, o valor ideal do tempo de reverberação está intimamente ligado com o uso que a sala em questão irá ter. [2]

Um elevado tempo de reverberação tende a reduzir a inteligibilidade da palavra uma vez que as consoantes são emitidas a um nível sonoro mais baixo e mais rápido do que as vogais sendo mascaradas pelo “rasto sonoro” das vogais antecedentes (Figura 2.7) [2].

No caso da música, um tempo de reverberação mais elevado produz um melhor resultado para o ouvido humano, existindo diversos intervalos aconselhados consoante o estilo de música a ser considerado. [2]

No Quadro 2.6 são apresentados alguns valores aconselhados para tempos de reverberação para salas com diferentes tipos de uso.

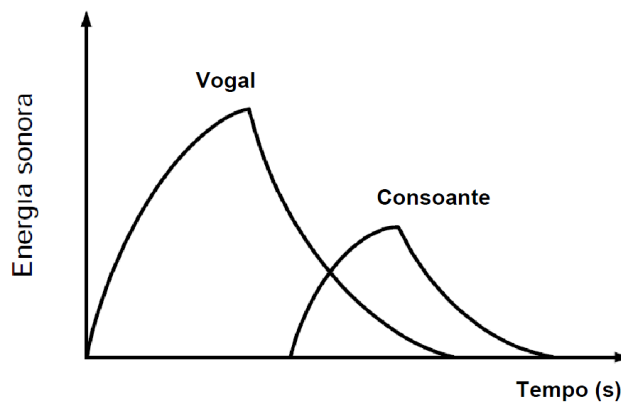


Figura 2.7 – Evolução temporal da energia sonora correspondente à emissão de uma vogal e de uma consoante subsequente num espaço fechado [adaptado de 3]

Quadro 2.6 – Valores de Tempo de Reverberação recomendados para diferentes espaços [adaptado de 3]

Tipo de Sala	Tempo de Reverberação (500 – 1.000 Hz)
	[s]
Estúdio de Rádio	0,2 – 0,4
Sala de Conferências	0,7 – 1,0
Cinema	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de Ópera	1,2 – 1,5
Sala de concertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Igreja / Catedral	2,0 – 3,0

Existem várias fórmulas de previsão do tempo de reverberação sendo apresentadas aqui apenas três: a fórmula de Sabine, de Eyring e a de Millington-Stette.

Sabine foi o primeiro a desenvolver um modo de prever o tempo de reverberação num espaço. A expressão desenvolvida por Sabine (Equação 2.8) depende essencialmente do volume,  $V$  ( $m^3$ ) e da área equivalente de absorção sonora,  $A$  ( $m^2$ ). O valor  $k$  (s/m) é obtido através da Equação 2.9, onde  $c$  (m/s) é a celeridade e esta é dependente da temperatura. Obtém-se o valor de 0,16 para uma temperatura de 24 °C. [2]

A fórmula de Sabine permite obter valores muito próximos da realidade para locais com campos sonoros difusos e com um coeficiente de absorção sonora média inferior a 0,20. [2]

$$TR(s) = \frac{k \cdot V}{A}, \quad \text{sendo } A(m_2) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad (2.8)$$

$$k = 24 \cdot \frac{\ln(10)}{c} \quad (2.9)$$

Eyring desenvolveu posteriormente uma fórmula de previsão do tempo de reverberação (Equação 2.10) que é mais adequada para situações em que todas as superfícies envolventes do local têm coeficientes de absorção semelhantes. [2]

$$TR(s) = \frac{0,16 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})}, \quad \text{sendo } \bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (2.10)$$

Pouco tempo depois de Eyring, surge a fórmula de Millington-Sette (Equação 2.11), sendo esta mais adequada para situações em que existam diferenças significativas entre os coeficientes de absorção das diversas superfícies envolventes do local. [2]

$$TR(s) = \frac{0,16 \cdot V}{-\sum_{i=1}^n S_i \cdot \ln(1 - \alpha_i)} \quad (2.11)$$

Em jeito de resumo e fazendo uma breve comparação entre as três fórmulas para previsão do tempo de reverberação acima apresentadas, pode-se considerar que a fórmula de Sabine é mais adequada quando se está perante locais com campos sonoros difusos e com um coeficiente de absorção sonora média inferior a 0,20, quando os valores de absorção não oferecem muita garantia e em casos de estudos prévios, anteprojectos ou situações no geral que não requeiram muita exactidão. A fórmula de Eyring é mais adequada quando a distribuição dos materiais absorventes é mais uniforme e com coeficientes de absorção semelhantes, quando se conhecem os valores dos coeficientes de absorção sonora com exactidão e quando se pretende um cálculo mais preciso. Por último, a fórmula de Millington-Sette é mais adequada quando não há uniformidade na distribuição dos materiais absorventes e os coeficientes também possuem diferenças significativas, quando as superfícies são suficientemente grandes e não exista nenhuma fortemente absorvente e quando se conhecem bem os coeficientes de absorção e se requer exactidão. [6]

## 2.3.2. STI E RASTI

### 2.3.2.1. STI

Desenvolvido no início dos anos 70, o *Speech Transmission Index* (STI) é uma forma de medir a inteligibilidade da palavra cujos valores variam entre 0 (sem inteligibilidade da palavra) e 1 (excelente inteligibilidade). [2]

A realização de testes STI é feita com um sinal modelado com características semelhantes à da voz humana. Seguindo o conceito que a fala pode ser descrita como uma onda fundamental modelada por sinais de baixa frequência, o STI emprega um esquema complexo de modelação de amplitude para gerar o sinal de teste. No receptor, a modulação do sinal recebido é comparado com o sinal de teste numa série de bandas de frequência, associando a redução na taxa de modulação com a perda da inteligibilidade da palavra. [16]

Um problema do STI como medida para a qualidade acústica de auditórios deve-se ao facto deste não incluir os efeitos de audição binaural. Se compararmos a audição natural com os resultados do STI, verifica-se rapidamente que para situações distintas da qualidade da fala, é possível obter valores de STI idênticos. O STI não mede também aspectos relacionados com a qualidade do som de um discurso, como por exemplo a distorção e o timbre. [7]

Hoje em dia, com recurso a computadores com elevadas performances, o cálculo do STI torna-se menos moroso e virtualmente instantâneo. [7]

#### 2.3.2.2. RASTI

O *Rapid Speech Transmission Index* (RASTI) é um método de avaliação da inteligibilidade da palavra com recurso a um equipamento portátil criado pela empresa *Brüel & Kjaer*, após em 1985 Houtgast e Steeneken terem adaptado o RASTI a partir do STI. [16]

O RASTI foi desenvolvido então como uma alternativa mais simples ao mais complexo sistema STI. Em contraste com o STI, o RASTI mede apenas duas bandas de oitava centradas nos 500 Hz e 2.000 Hz, respectivamente. Tal como o STI, utiliza um sinal modelado com características semelhantes à da voz humana e correlaciona a redução do sinal recebido com a perda de inteligibilidade. [16]

O RASTI foi implementado num instrumento simples e portátil que possibilita a realização de medições relativas à inteligibilidade da palavra de forma extremamente rápida, podendo analisar a inteligibilidade com o uso ou não de sistemas de reforço electroacústico. Por esta razão, foi adoptado por várias normas europeias ou outro tipo de especificações. No entanto, por ser uma versão bastante simplificada do STI, possui algumas lacunas que têm forçado à reavaliação das referidas normas. [16]

No Quadro 2.7 são apresentados intervalos de valores do parâmetros RASTI e a classificação da inteligibilidade da palavra numa escala subjectiva associada a cada intervalo.

Quadro 2.7 – Conversão do parâmetro RASTI numa escala subjectiva de inteligibilidade da palavra [17]

RASTI	Inteligibilidade da Palavra
<0,30	Má
[0,30 – 0,45[	Pobre
[0,45 – 0,60[	Aceitável
[0,60 – 0,75[	Boa
[0,75 – 1,00]	Excelente

### 2.3.3. RUÍDO DE FUNDO – CURVAS DE INCOMODIDADE

O ruído de fundo pode ter origem no exterior (ruídos provenientes do exterior, como ruído de tráfego aéreo, rodoviário, obras, etc.) ou no interior (ruído associado a sistemas de condicionamento higro-térmico). O incómodo que estes ruídos causam nas pessoas varia de pessoa para pessoa, da situação e do local. [2, 7]

A avaliação e caracterização da incomodidade de um ruído de fundo estável e contínuo, usualmente provocado por equipamentos AVAC, pode ser realizada com as chamadas *Curvas de Incomodidade*. Existem várias curvas de incomodidade, mas ao longo do presente trabalho apenas irão ser abordadas as curvas NC (*Noise Criteria*) e NR (*Noise Rating*). [2]

As curvas NC (ANSI/ASA S12.2-2008) [18] foram propostas por Leo Beranek em 1957, sendo cada curva NC definida pelos seus níveis de pressão sonora para oito bandas de oitava entre os 63 Hz e os 8.000 Hz. O cálculo é feito com o método da tangente, isto é, a classificação NC para uma dada situação é o valor da menor curva NC que não é excedida por nenhum nível de pressão sonora por bandas de 1/1 oitava. [2]

As curvas NR (ISO 1996-1:2003) [19] foram propostas em 1962 por Kosten e Van Os, e são muito idênticas às curvas NC, sendo também calculadas com recurso ao método da tangente para as bandas de frequências entre os 32 Hz e os 8.000 Hz. É a curva mais utilizada na Europa. [2]

Nas Figuras 2.8 e 2.9 pode-se verificar as curvas NC e NR, respectivamente.

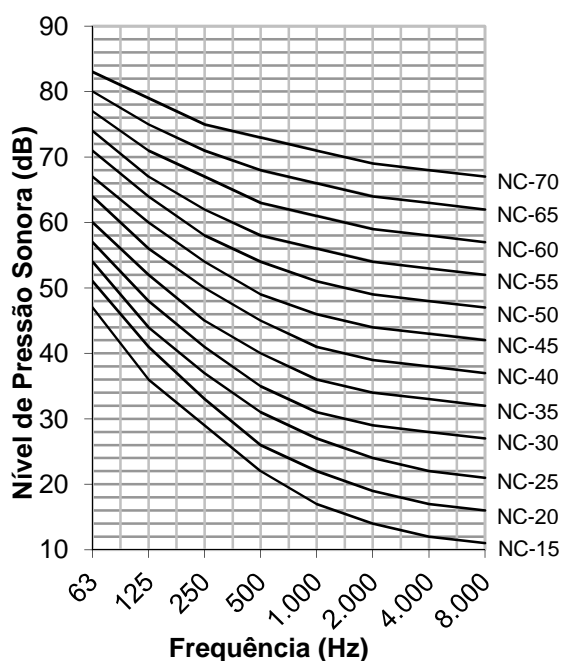


Figura 2.8 – Curvas do método *Noise Criteria* - NC

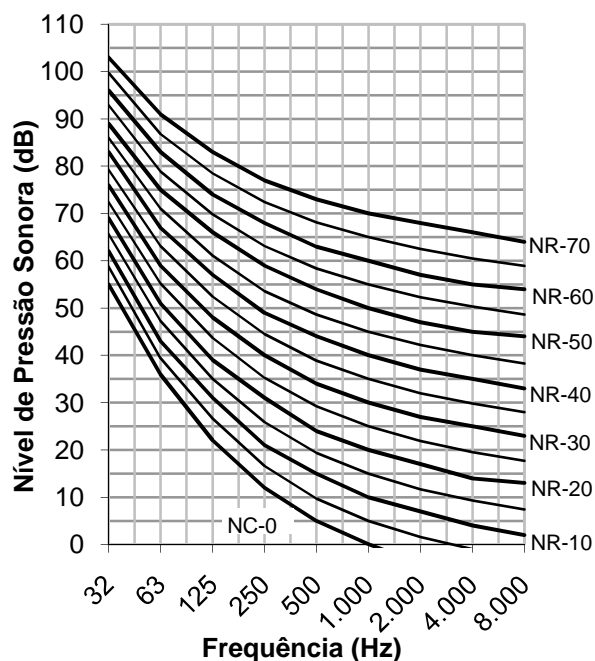


Figura 2.9 – Curvas do método *Noise Rating* - NR

Existem diversas tabelas com valores limites recomendados para as curvas de incomodidade para cada situação específica, como se pode observar nos Quadros 2.8 e 2.9.



Quadro 2.8 – Valores máximos recomendados para curvas *NC* para diferentes situações [adaptado de 2]

<b>Tipo de local</b>	<b>NC</b>
Estúdios de rádio e gravação, salas de concertos, grandes auditórios	$\leq 20$
Pequenos auditórios, teatros, salas de música, escritórios de executivos, igrejas, tribunais	20 – 30
Quartos de dormir, hospitais, residências, apartamentos, hotéis	25 – 35
Salas de aula, bibliotecas, pequenos escritórios, pequenas salas de conferências	30 – 35
Grandes escritórios, lojas, cafés, restaurantes, ginásios	35 – 40
<i>Lobbies</i> , escritórios de desenho e engenharia, locais de secretariado, pequenas oficinas de manutenção	40 – 45
Cozinhas, lavandarias, escolas e lojas industriais, salas de equipamento informático	45 – 55

Quadro 2.9 – Valores máximos recomendados para curvas *NR* para diferentes situações [adaptado de 20 e 21]

<b>Tipo de local</b>	<b>NR</b>
Estúdios de rádio e gravação	$\leq 15$
Teatros, salas de espectáculos	15 – 20
Salas de aula, salas de música, quartos de dormir	20 – 25
Salas de conferências, cinemas, hospitais, igrejas, tribunais, bibliotecas	25 – 30
Átrios, corredores, restaurantes, escritórios, lojas	35 – 40
Supermercados, cantinas	40 – 45
Ginásios, escritórios com equipamento comercial, locais de dactilografia	45 – 50
Oficinas, locais de trabalhos leves de engenharia	50 – 60
Fundições, locais de trabalhos pesados de engenharia	60 – 70



# 3

## ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E RELIGIOSO

### 3.1. JUDAÍSMO

#### 3.1.1. HISTÓRIA

O Judaísmo é a mais antiga das três principais religiões monoteístas existentes no mundo – Judaísmo, Cristianismo e Islamismo.

O Cristianismo é a religião dos seguidores de Jesus Cristo, judeu nascido na Palestina durante o reinado do imperador romano Augusto (27 a.C. – 14 d.C.). De uma forma ou de outra, todas as variantes do Cristianismo aceitam a autoridade de Jesus Cristo. Muito daquilo que se sabe de Jesus encontra-se nos Evangelhos (Mateus, Marcos, Lucas e João), os primeiros quatro livros do Novo Testamento, centrais para as escrituras cristãs (a Bíblia), cuja autoridade é aceite por todas as principais tradições cristãs. A Bíblia é composta por duas recolhas de escritos: o Antigo Testamento (ou Bíblia Hebraica / escrituras judaicas) e o Novo Testamento, tendo o primeiro sido escrito em hebraico e o segundo em grego. A juntar a estas recolhas, a Igreja Católica, bem como as igrejas de tradição oriental, aceitam a autoridade de uma série de outros escritos, considerados pela igreja Protestante como livros apócrifos. Facto central na narrativa dos Evangelhos e mensagem do Novo Testamento enquanto um todo, é a morte e ressurreição de Jesus, sobre a qual se acredita que Deus agiu de forma decisiva para salvação do mundo. [22]

O Islão é actualmente a religião do mundo com maior índice de crescimento e, com mais de um milhar de milhão de seguidores, a segunda maior a seguir ao Cristianismo. A palavra *islam* significa reconhecimento e submissão à vontade de Alá<sup>2</sup>, o único e verdadeiro Deus. Um muçulmano é aquele que reconhece e se submete de forma obediente a Alá – conduzindo esta submissão à salvação. Com efeito, em termos ideais, todos os aspectos da vida – pessoal, social e política – deviam estar submetidos à vontade divina, como vem referido no livro sagrado do Islão, o Corão. [22]

O Judaísmo é a religião do povo judeu, cujo número ronda actualmente cerca de 15 milhões de indivíduos em todo o mundo. Embora muitos judeus vivam em Israel (cerca de 4,5 milhões), quase metade da população judaica (à volta de 7 milhões de pessoas) reside nos Estados Unidos. Outras comunidades judaicas dignas de relevo encontram-se em França (525.000), Canadá (362.000), Grã-Bretanha (292.000), Argentina (206.000), Ucrânia (180.000), Brasil (100.000) e África do Sul (95.000). Contudo, é importante referir que a maioria dos judeus mantém pouco contacto com o judaísmo enquanto religião. Embora muitos desejem manter a sua identidade judaica, a maioria são

---

<sup>2</sup> Alá é a palavra árabe para Deus

judeus seculares que pouco se interessam pelas crenças e práticas do judaísmo. Menos de um terço dos judeus americanos, por exemplo, são membros de um dos movimentos religiosos que compõem o judaísmo. Apesar de tudo, o Judaísmo continua a ser importante como tradição embrionária e como religião do Estado de Israel, ocupa politicamente uma posição muito importante. [22, 23]

Os princípios básicos do Judaísmo estão registados na Bíblia Hebraica (que os cristãos designam por “Antigo Testamento”). É considerado uma história sagrada, em que as primeiras histórias estão relacionadas com os patriarcas e matriarcas de uma pequena área situada a leste do Mediterrâneo, e dos respectivos descendentes. Acabou por surgir a noção de que estas pessoas, designadas por Judeus por serem provenientes da Judeia, tinham sido especialmente escolhidas por Deus para fazer com que o mundo alcançasse a harmonia perfeita que Deus pretende. [23]

Segundo a Bíblia, os antepassados de Israel chegaram ao Egito como homens livres, mas foram reduzidos mais tarde à escravidão. Alguns milhares saíram por volta de 1260 a.C., logo após (ou durante) a saída do profeta Moisés, instalando-se em Canaã e formando doze tribos (Figura 3.1). [24]



Figura 3.1 – Mapa das doze tribos de Israel [25]

Após a morte de Saul em 1004 a.C. (rei de Israel nomeado em aproximadamente 1025 a.C. pelo *shofet* (juiz) e vidente Samuel), David, seu genro, foi designado rei pela tribo meridional de Judá. Pacificou a região e transformou Jerusalém em centro religioso, depositário da Arca da Aliança (caixa de acácia, com 1,25 m de comprimento por 0,75 m de largura e altura, revestida a ouro, e coberta com uma tampa de ouro, que sustentava dois querubins, também de ouro (Figura 3.2), onde estariam guardadas

as Tábuas dos Dez Mandamentos). David ascendeu assim de pastor a fundador de um próspero império. [23, 24, 26, 27]



Figura 3.2 – Miniatura exemplificativa de como seria a Arca da Aliança [28]



Figura 3.3 – Desenho do que terá sido o Templo de Salomão (1º Templo) [29]

A David sucedeu o seu filho Salomão (ca. 971-931 a.C.), rei lendário pelo seu saber, que mandou construir o Templo de Jerusalém (também conhecido por Templo de Salomão) para aí colocar a Arca de Aliança (Figura 3.3).

Após a morte de Salomão, o estado dividiu-se em reino do Norte (Israel) e reino do Sul (Judeia). [24, 26]

Em 722 a.C., Israel foi conquistado pelo Império Assírio, e em 587 a.C. foi a vez do reino do Sul ser tomado. Nesse mesmo ano, o imperador babilónico Nebuchadnezzar (Nabucodonosor II) mandou destruir o grande Templo de Jerusalém, centro de devoção judaica. Muitos judeus foram forçados a exilarem-se na Babilónia. [23, 24, 26, 30]

Tendo o seu principal local de culto destruído, o único elemento fundamental que possuíam eram os escritos sagrados. Surgiram ocasiões especiais para a leitura destes escritos sagrados, sendo a mais importante o sétimo dia da semana – *Shabat*<sup>3</sup> – inicialmente um dia tabu mais que um dia especial de prática devota, tendo sido na Babilónia que este dia ficou mais associado a este último tipo, a prática devota. Neste dia reuniam-se assembleias onde as escrituras eram lidas e comentadas, ofereciam-se orações e possivelmente cantavam-se alguns salmos. A palavra e a oração tomavam assim o lugar do sacrifício. [23, 24, 26, 30]

Com o passar do tempo, as condições dos judeus exilados permitiram-lhes erigir edifícios especiais para tais ocasiões devotas, denominados de “a casa de assembleia” (*beth keneseh*), mais tarde conhecidas pela forma grega do nome, sinagoga. [23, 24, 26, 30]

O exílio terminou em 538 a.C. após o imperador persa, Ciro II “O Grande”, ter derrubado o Império Babilónico. Com o apoio de Ciro, houve um regresso a Jerusalém por parte dos cerca de 40.000 judeus exilados, assim como a reconstrução do Templo de Jerusalém, dedicado em 515 a.C. (Figura 3.4).



Figura 3.4 – Representação do segundo Templo de Jerusalém [31]

Seguiu-se o domínio helénico (333 a.C. – 63 a. C) em que Antíoco IV, em 167 a.C. aboliu a lei judaica e profanou o Templo de Jerusalém, colocando aí uma estátua de Zeus e fazendo-lhe sacrifícios, no altar do Templo, com porcos e outros animais impuros segundo a lei judaica. Esta situação deu origem à revolta dos Macabeus, tendo o Templo sido ocupado e purificado pelas revoltas em 164 a.C. Foi também durante o domínio grego que os Judeus se começaram a sentir atraídos para fora, por interesses comerciais, mostrando uma extraordinária habilidade para se adaptarem às exigências do

---

<sup>3</sup> Comumente conhecido como sábado de cada semana, é verificado a partir do pôr-do-sol de sexta-feira até ao pôr-do-sol de sábado

comércio internacional. De pastores tornaram-se agricultores, e do mesmo modo, fizeram-se negociantes e comerciantes. [24, 26, 30]

Em 63 a.C. começou o período de domínio romano, tendo o segundo Templo de Jerusalém e toda Jerusalém sido destruído pelas chamas em 70 d.C. e arrasada pelo exército imperial. A queda do Templo favoreceu a diáspora, um fenómeno já muito antigo, pelo menos desde o séc. VI a.C. aquando da ida para a Babilónia. Foi após este período que o judaísmo evoluiu para a forma actual. Desta forma, o Judaísmo tal como hoje se conhece não se desenvolveu antes do Cristianismo, mas sim ao mesmo tempo. O termo “rabi” antes era uma forma de tratamento respeitoso, mas após esta data, começou a ser utilizado com um sentido mais técnico, como título para os professores judeus (ou “sábios”) religiosos reconhecidos oficialmente, que por vezes exerciam funções judiciais. [22, 24, 26]

Em 133 d.C., eclodiu uma revolta, sob a égide do Messias Bar Kocjba, apoiado pela autoridade religiosa do Rabbi Akiva (ca. 50-135). A sua repressão feroz levou à devastação da Judeia e à sua desertificação, mas a proibição das práticas religiosas judaicas não esteve em vigor mais do que alguns anos e as condições de vida dos Judeus e a administração local (reservada a um príncipe – *nasi* – indígena) melhorariam sensivelmente no começo do século II d.C. Só mais tarde, quando o Cristianismo se tornou na religião única do Império Romano (fim do século IV), é que os privilégios foram retirados aos Judeus e que eles foram excluídos de todo o emprego público. Esta situação prolongou-se até ao século XVIII em quase todos os Estados cristãos com maior ou menor intensidade, assim como nos Estados muçulmanos após o aparecimento do Islão, com muito raras excepções na Espanha muçulmana, confirmando a regra. Primeiro perseguidos pelos fundamentalistas muçulmanos, depois expulsos da Península Ibérica em finais do séc. XV, os judeus sefardins (Espanha e Portugal) refugiaram-se no Norte de África, na Ásia Menor, na Holanda, onde quer que as autoridades os acolhessem. [24, 26]

Perseguidos ou detidos, segundo vontade dos soberanos, os Judeus ganharam, no entanto, muitos defensores na época das Luzes. No fim do século XVIII, a assimilação dos judeus tornou-se possível na Alemanha (1781-87) e em França (c. 1790), mas a sua situação continuou a ser precária na Rússia e zona de influência russa até ao fim do século XIX, na época em que Bejamin Disraeli<sup>4</sup> era primeiro-ministro da Grã-Bretanha. [24]

As Luzes tiveram uma influência sobre o próprio judaísmo ortodoxo. Moses Mendelssohn (1729-1786) é o pai dos *maskilim* (singular *maskil*, representante das Luzes) e do fenómeno conhecido sob o nome de *haskalah*, a modernização da literatura judaica. Tal como todos os povos ocidentais, os Judeus redescobrem a profundidade das suas próprias tradições no começo do século XIX (Samuel David Luzzato, 1800-1865) e elaboram uma filosofia da história na qual o monoteísmo se torna símbolo de Israel (Nahman Krochmal, 1785-1840). O Judaísmo reformado opõe-se ao Judaísmo conservador. [24]

Intelectual, espiritual e financeiramente os judeus sempre foram pessoas muito activas, mas periodicamente confrontaram-se com grandes opressões que culminaram no Holocausto, com o assassinato de quase seis milhões de judeus por parte da Alemanha nazi durante a Segunda Guerra Mundial (1939-45). Após o Holocausto, alguns judeus desenvolveram esforços muito sérios para estabelecer um estado judaico na terra bíblica de Israel, como forma de acabar com o exílio no estrangeiro. Em 1948, com o apoio das Nações Unidas, formava-se então o Estado de Israel. No entanto, o relacionamento entre os colonos israelitas, os habitantes palestínios da área e os países vizinhos é extremamente tenso, conduzindo muitas vezes a conflitos armados. [23]

<sup>4</sup> 1804 – 1881



### 3.1.2. FUNDAMENTOS E CRENÇAS

O Judaísmo é rigorosamente monoteísta, insistindo na unicidade de Deus. Juntamente com isto, o Judaísmo sempre pregou o amor a Deus. A ordem clássica “Amarás ao Senhor teu Deus, com todo o teu coração, com toda a tua alma e com todas as tuas forças” é cuidadosamente ensinada às crianças e repetida vezes sem conta na vida diária. A vida de cada pessoa também deve ser conduzida de acordo com as leis que Deus determinou para as questões espirituais e seculares. Independentemente de tudo o que de mau tenha acontecido, os Judeus são encorajados a acreditar que algum dia chegará um Messias que guiará o povo judeu até um período de paz universal (uma das maiores diferenças para com o Cristianismo que considera que o Messias já chegou, sendo ele Jesus Cristo). [23]

A escritura sagrada dos Judeus é a Bíblia Hebraica ou *Torah nebi'im we ketuvim* (compêndio *Tanakkah*), “a Lei, os Profetas e os Escritos” e, como indica este título, ela é composta por três secções fundamentais: a Tora propriamente dita ou Pentateuco (cinco escritos), os Profetas e os Escritos, num total de 24 livros. A parte mais antiga do Pentateuco data do século X a.C., e as mais recentes do *Ketuvim* (os Escritos) só datam do século II a.C. [22, 24]

O Pentateuco consiste no Génesis (*Bereshit*), o Êxodo (*Shemot*), o Levítico (*Vayikra*), os Números (*Be-Midbar*) e o Deuteronomio (*Devarim*). A Tora foi feita a partir de quatro textos de épocas diferentes: J ou Javeísta, que utiliza para Deus o nome de JHVH (século X a.C.), E ou Eloísta, que utiliza para Deus o nome (plural) de Eloim (século VIII a.C.), D que está na origem da redacção de uma parte do Deuteronomio (622 a.C.) e P, redigido por um grupo de sacerdotes, que está na base do Levítico e de certas partes de outros escritos. A diversidade das fontes implica também uma diversidade das concepções de Deus e dos mitos de fundação dos cosmos e do homem. [24]

Os Profetas dividem-se em “antigos” e “novos”. Os “antigos” apareciam em seis livros de narrativas históricas: *Josué*, *Juízes*, *1 e 2 Samuel*, *1 e 2 Reis*, cujos protagonistas são Josué, sucessor de Moisés, Samuel, Saul, David, os profetas Elias e Eliseu, até à conquista babilónica de 587 a.C.. Os profetas “novos” reagrupam os oráculos e visões de Isaías, Jeremias, Ezequiel e dos “doze” (Oseias, Joel, Amos, Jonas, Zacarias, etc.). Os *Ketuvim* são escritos variados que datam de épocas diversas como os *Salmos* (150 cânticos e orações), os *Provérbios*, *Job*, os cinco *megillot* (Cântico dos Cânticos, Ruth, Lamentações, Eclesiastes, Ester), *Daniel*, *Esdras*, *Nehemias*, *1 e 2 Crónicas*. [24]

Outra fonte importante de autoridade é a lei judaica, a *halakkah*, que se divide em duas categorias principais, a “Tora escrita” e a “Tora oral”. A primeira é o Pentateuco, o qual se acredita ter sido entregue em forma escrita a Moisés no monte Sinai. A Tora oral consiste numa grande colecção de discussões rabínicas e de comentários sobre a Tora. Inclui a *Mishnah* (c. 200 d.C.), uma importante colectânea de material legal judaico desenvolvido ao longo de um período de 200 anos e que contém 63 tratados agrupados em seis secções (*sedarim*): *Zeiam* (Sementes), *Moed* (Festas), *Nashim* (Mulheres), *Nezikim* (Perdas), *Kodashim* (Coisas Santas) e *Teharot* (Purificações). As tradições não incluídas na *Mishnah*, os *beraitot*, foram recolhidas num suplemento (*Tosefta*). Estão também incluídos os dois Talmudes – o de Jerusalém e o da Babilónia. Os Talmudes são uma colecção de tradições e reflexões rabínicas sobre a vida e lei judaica. O Talmude palestino, mais antigo e três vezes mais breve, foi concluído no início do século V d.C. e o Talmude babilónico concluído por volta de 700 d.C. As diferentes correntes do judaísmo ortodoxo e conservador surgiram como resultado das interpretações distintas da *halakkah*. [22, 24]



### 3.1.3. DIVISÕES NO SEIO DO JUDAÍSMO

Existem dois grupos de judeus, nomeadamente os Asquenazins e os Sefardins.

*Ashkenaz* é o termo hebraico para o país que actualmente é conhecido como Alemanha e os *Ashkenazi* são os judeus que têm a sua origem na área geográfica que abrange a Alemanha e o Norte de França. As comunidades que vieram estabelecer-se na Escandinávia e na Europa Oriental são compostas, normalmente, por judeus asquenazins. A sua língua comum, conhecida por iídiche, é uma mistura de hebraico, alto-alemão e várias línguas locais. [22]

*Sefardí* é um termo originalmente utilizado na Península Ibérica. Os judeus sefardins são descendentes de comunidades que se instalaram em Espanha e Portugal. Como resultado da expulsão em massa no final do século XV, muitos judeus sefardins fugiram para o oriente, vindo a instalar-se na Itália, Turquia, na Palestina e no Norte de África, enquanto outros se dirigiam para norte, em especial para a Holanda, Alemanha e Inglaterra. Ao tentar fugir à perseguição, inúmeros judeus acabaram por chegar à América do Norte e América Latina, especialmente à Argentina e Brasil. A língua comum dos judeus sefardins é o ladino, com base no espanhol. Como seria de esperar, embora se encontrem unidos pelo sentido de sobrevivência e expansão do judaísmo, estes dois grandes grupos de judeus possuem costumes, tradições e rituais próprios e distintos. [22]

A juntar a esta divisão fundamental dos judeus nos dias de hoje, existem ainda várias outras divisões. A par das tradições não religiosas do sionismo político e dos judeus seculares, que mantém uma ligação ténue à sua fé, existem seis movimentos religiosos principais: [22]

- O Judaísmo Reformista, por vezes designado de Judaísmo Liberal ou Progressista, começou na Alemanha, no início do século XIX. Procurando responder às preocupações do Iluminismo Europeu, foi um movimento deliberadamente modernista que procurou adaptar os rituais do judaísmo e explicar as suas crenças básicas mediante termos que tivessem em conta o novo pensamento liberal e racional que surgia no Ocidente. Alguns dos seus defensores pretendem eliminar aquilo que consideravam ser práticas arcaicas e crenças supersticiosas, e desenvolver o judaísmo para a era moderna; [22, 23]
- O Judaísmo Hassídico ou comunidade hassídica, que poderia ser mencionada a par da ultra-ortodoxia, uma vez que se trata de uma comunidade distinta, em especial no que diz respeito às suas origens, será listada separadamente. Quando se imagina um judeu religioso, a imagem que surge é a de um dos membros deste movimento: barba longa, caracóis compridos junto das orelhas e roupas pretas. O Hassidismo surgiu na Polónia, no século XVIII, e foi fundado pelo rabi Israel ben Eliezer (c. 1700-1760), o *Ba'al Shem Tov* (Homem de boa reputação). A crescente insatisfação em relação ao judaísmo tradicional, o qual, para muitos judeus, viera a tornar-se demasiado frio e intelectual, levou ao desejo de algo novo. O *Ba'al Shem Tov* satisfez este desejo de uma forma não intelectual de judaísmo, pregando que a devoção pessoal, a oração e a relação individual com Deus eram muito mais importantes do que a erudição. A par da importância dada à experiência mística de Deus, o Judaísmo Hassídico também desenvolveu uma forte oposição à modernidade, chegando a ser descrito como “fundamentalista” na sua abordagem. Além disso, e tal como acontece com as comunidades ultra-ortodoxas, o movimento tem vindo a manter um distanciamento da sociedade em geral. Por exemplo, ao procurar erguer limites sociais, os seguidores adoptam uma forma de vestir característica, recusam-se a participar na educação secular e seguem regras alimentares bastante rígidas; [22]
- O Judaísmo Ultra-Ortodoxo surgiu no início do século XIX como movimento anti-reformista. Na Hungria, em especial, assistiu-se a uma rivalidade aguerrida entre os que procuravam

manter as crenças tradicionais e os que ambicionavam a reforma. O rabi Mosheh Sofer (1762-1839) foi um líder influente que afirmou que qualquer desvio das crenças e práticas judaicas tradicionais era uma violação directa à vontade de Deus. Rejeitou, assim, alterações à tradição e, portanto, qualquer adaptação à cultura que o rodeava. Como consequência, os seus seguidores e discípulos afastaram-se dos restantes judeus e, de forma semelhante à comunidade hassídica, desenvolveram comunidades separatistas extremamente centralizadas; [22]

- O Judaísmo Ortodoxo, também designado por Judaísmo Moderno ou Neo-Ortodoxo, surgiu como resposta menos extrema às inovações do Judaísmo Reformista. Hoje em dia não existe um “movimento ortodoxo” propriamente dito, pois a ortodoxia consiste numa série de grupos distintos, mas o termo poderá ser aplicado aos judeus que partilham os dogmas essenciais de uma tradição que surgiu na Alemanha em meados do século XIX, e cuja figura principal foi Samson Raphael Hirsch (1808-1888). Este e outros líderes judeus asseveraram a autoridade imutável da Tora e da *halakkah* e concordaram com algumas das preocupações dos judeus ultra-ortodoxos. Ainda assim, sentiram a força da modernidade e defenderam a inclusão dos judeus na sociedade europeia mais vasta. Esta síntese criativa entre o Judaísmo e a modernidade é algo característico de muito do Judaísmo Ortodoxo contemporâneo. Actualmente existem, contudo, muitos indivíduos que estão a abraçar formas de judaísmo separatistas e de direita, uma vez que foram ficando insatisfeitos com algumas das características essenciais da cultura moderna, como o relativismo e o pluralismo; [22, 23]
- O Judaísmo Conservador ou Masorti (de um termo hebraico que significa “tradicional”) surgiu na Alemanha em meados do século XIX, como resposta ao desafio apresentado pelo modernismo europeu. Se a ortodoxia pode ser vista como ponto intermédio entre a ultra-ortodoxia e o Judaísmo Reformista, o movimento conservador pode, talvez, ser considerado o ponto intermédio entre a ortodoxia e o Judaísmo Reformista. Descontentes com a veneração e os hábitos demasiado presos à tradição da ortodoxia, mas sem quererem ir tão longe como os reformistas, alguns líderes judaicos desejaram assistir a uma cuidadosa evolução do judaísmo para uma religião adequada à era moderna. Queriam conservar o judaísmo tradicional, mas de uma forma que fosse mais aberta ao contexto moderno. Dessa forma, por exemplo, mesmo mantendo na sinagoga a separação de lugares para homens e mulheres, sancionaram a ordenação de mulheres como rabis e o seu treino enquanto chantres. Mais uma vez, insistiam na autoridade da Tora, mas não defendiam que era a verdadeira palavra de Deus. O Judaísmo Conservador pode ser encontrado por todo o mundo judaico, mas a sua presença é mais forte nos Estados Unidos, sendo geralmente conhecido, fora deste país, como movimento Mesorati; [1, 2]
- O Judaísmo Humanista ou Judaísmo Recontruticionista são movimentos recentes criados nos Estados Unidos que representam uma tendência em direcção ao secularismo. [22]

## 3.2. JUDAÍSMO EM PORTUGAL

### 3.2.1 HISTÓRIA

A presença de judeus na Península Ibérica remonta ao séc. III a.C., tendo chegado juntamente com os fenícios e posteriormente, em maior número, durante a ocupação romana da Palestina. [32]

Existem vários registos da presença judaica em Portugal que datam do séc. VI, no período visigótico. No entanto, o mais antigo registo desta presença foi descoberto em Mértola, e trata-se de uma lápide com inscrições em hebraico datada de 4 de Outubro de 482. [27, 32, 33]

Presente no reino e acompanhando a reconquista, a minoria judaica fixava-se nos concelhos em lugares nobres destes: a proximidade da rua Direita ou da praça. A rua dos judeus, tornada Judaria ou Judiaria, tinha como centro a sinagoga – espaço de oração, escola, tribunal e câmara de vereação da comunidade. Durante o século XIV foram construídas em algumas povoações de Portugal novas muralhas, pelo na maior parte dos casos o bairro ou a rua dos judeus passou a integrar o interior amuralhado e a situar-se perto de uma das portas, como aconteceu na Guarda ou em Trancoso, por exemplo. [27]

A comuna era constituída por todas as famílias de crentes, residentes num concelho e habitando, ou não, a rua ou bairro dos judeus. Por vezes, a comunidade espalhava-se por várias judiarias, localizadas no mesmo espaço municipal ou irradiando pelo termo deste. Lisboa tinha três judiarias, a velha ou grande, a nova e a de Alfama, para além dos judeus residentes no Tojal, em Sacavém ou em Almada. [27]

Na comuna existiam, à semelhança do município cristão, gente honrada entre a qual eram eleitos os magistrados, ou seja, os juízes ou rabis, os vereadores e demais oficiais. Tinha chancelaria própria, onde um escrivão, ou mais, podia escrever os ofícios em hebraico, até ao reinado de D. João I, altura em que foi imposta a língua portuguesa e o alfabeto latino nos documentos oficiais. Em algumas comunidades mais pequenas, alguns destes cargos podiam ser entregues a cristãos, como o escrivão, por exemplo. [27]

Os judeus viveram em clima de relativa tolerância em Portugal desde a formação da nacionalidade, no século XII, aumentando as suas comunidades até finais do século XV, época em que representariam cerca de 10% dos menos de 1.500.000 habitantes do país. [33]

Após o casamento do rei D. Manuel I com a filha dos Reis Católicos, e a partir do Édito de Expulsão de D. Manuel I, em Dezembro de 1496, transformado em baptismo forçado (conhecido como “baptismo em pé”) no ano seguinte, a situação degradou-se e, após árduas tentativas do intolerante rei D. João III, a Inquisição foi introduzida em 1536, o que desencadeou o extermínio sistemático do Judaísmo em Portugal. [32, 33]

Na verdade não foram só as autoridades cristãs que se serviram dos judeus para atingir os seus fins políticos, económicos e sociais. Os judeus também usaram de muita diplomacia para sobreviverem no seio das sociedades cristãs. Se a generalidade dos nossos reis, até ao Édito de Expulsão, protegeram os “seus judeus” por interesses pessoais ou de Estado, também muitos judeus se aproveitaram dessa circunstância para ganharem um estatuto social e uma posição económica privilegiadas. Mas, pode-se considerar com inteira justiça que os judeus, à custa desse equilíbrio de interesses conjunturais, viveram em clima de tolerância até finais do século XV, enquanto no resto da Península Ibérica foram afectados por uma constante intranquilidade e estiveram a ferro e fogo a partir de finais do século XIV, um século antes da Inquisição e expulsão espanholas. [34]

Esta situação só terminaria com a acção autoritária do Marquês de Pombal no último quartel do século XVIII e seria definitivamente afastada com a extinção da Inquisição pelo parlamento liberal em 1821. [32, 33]

Foi portanto um período negro da história judaica em Portugal. Aqueles que tiveram condições iniciaram uma imensa Diáspora, que os levou até Amesterdão, Antuérpia, Londres, Bordéus, Hamburgo, Veneza, Livorno, Ferrara, Salónica e Istambul e posteriormente até ao Novo Mundo (América do Norte e do Sul) passando pelas ilhas Atlânticas (Madeira, Açores, Cabo Verde e S. Tomé e Príncipe). [32]

Contudo, foi na Holanda que encontraram a paz, a estabilidade, a tolerância e a prosperidade económica mais assinaláveis. Desde o estabelecimento da Inquisição no nosso país, que os judeus portugueses começaram a chegar a Anvers, onde seriam bem acolhidos e integrados na rede comercial. A medicina e o comércio eram as actividades predominantes das comunidades judaicas portuguesas na Holanda. [33]

Na Figura 3.5 é possível ver a Sinagoga Portuguesa de Amesterdão.

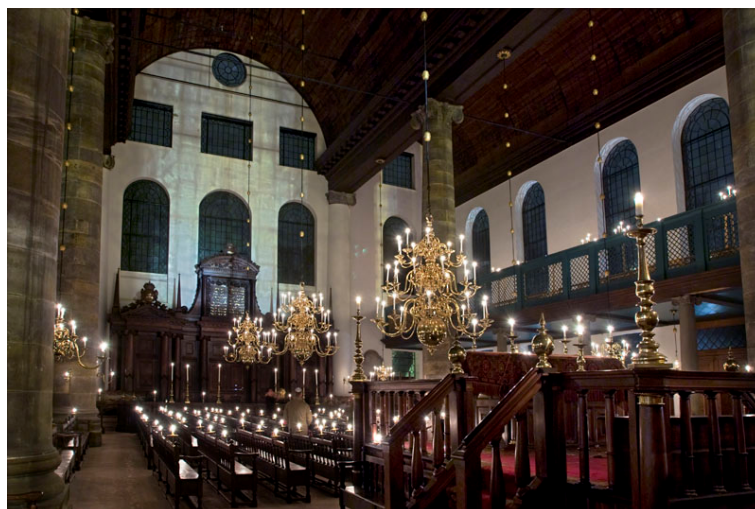


Figura 3.5 – Sinagoga Portuguesa de Amesterdão (Holanda) [35]

A Alemanha também acolheu bem os judeus portugueses, tendo Hamburgo sido a cidade mais importante, e por isso mesmo, ficou conhecida por a “Jerusalém do Norte”. Curioso é o facto de em 1661, Portugal ter aberto um consulado em Hamburgo, devido ao importante comércio que ali se desenvolvia entre Portugal e os judeus locais, muitos dos quais portugueses exilados. [33, 36]

As primeiras comunidades judaicas contemporâneas começaram a reconstituir-se no início do século XIX e, um século depois, revelar-se-iam ao mundo os criptojudеus sobreviventes do extermínio inquisitorial, que foram descobertos no interior do país, nas Beiras e em Trás-os-Montes, pelo engenheiro judeu polaco Samuel Schwarz. Pela acção determinada do capitão Barros Basto, também ele marrano, iniciou-se a chamada “Obra do Resgate”, que procurou trazer ao judaísmo oficial esses milhares de judeus secretos. [33]

A literatura anti-semita que proliferou entre os séculos XVI e XVIII constitui fonte inestimável para a compreensão do anti-semitismo português. Também a acção filo-semita de personalidades tolerantes, como o Padre António Vieira, D.Luís da Cunha e o Cavaleiro de Oliveira, demonstra que a resistência judaica teve o apoio de alguns dos nossos melhores intelectuais, que contribuíram assim para o processo de emancipação dos judeus portugueses, iniciado no tempo do Marquês de Pombal, continuado no período liberal e legalizado durante a primeira República. [33]

As modernas comunidades israelitas portuguesas edificaram novas sinagogas de raiz, designadamente em Lisboa e no Porto, prosperaram de norte a sul, passando pelos arquipélagos dos Açores e Madeira, e envolveram-se nos esforços sionistas da construção da pátria judaica, entre finais do século XIX e meados do século XX. [33]

### 3.2.2. AS SINAGOGAS DE PORTUGAL

#### 3.2.2.1. Sinagoga Shaaré Tikvá (Lisboa)

A Sinagoga Shaaré Tikvá (“Portas de Esperança”) é a principal sinagoga da comunidade judaica de Portugal, possuindo o maior número de lugares sentados. [37]

Localizada em Lisboa, na Rua Alexandre Herculano da freguesia de São Mamede, a Sinagoga Shaaré Tikvá (Figura 3.6) é projecto de 1897, da autoria do arquitecto Miguel Ventura Terra, tendo sido a primeira pedra lançada em 1902 e inaugurada em 1904. [37, 38]

Primeiro templo não católico classificado pela Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais em Abril de 1997, como imóvel de interesse público. Primeira sinagoga construída de raiz desde o decreto de expulsão. Com a inauguração desta sinagoga fechava as portas a antiga sinagoga Hes-Haim, ou “sinagoga grande”. [34]



Figura 3.6 – Sinagoga Shaaré Tikvá (Lisboa) [39]

#### 3.2.2.2. Sinagoga Ohel Jacob (Lisboa)

A Sinagoga Ohel Jacob (Figura 3.7) é a única sinagoga *Ashkenazi* em Portugal. [40]

É uma sinagoga de tradição ortodoxa, que, após um período de suspensão de serviços e nova formação/constituição acolheu os primeiros Bnei-anussim (marranos) que pretenderam regressar à tradição dos seus ancestrais forçados à conversão cristã durante a Inquisição. [40]



Figura 3.7 – Sinagoga Ohel Jacob (Lisboa) [40]



### 3.2.2.3. Sinagoga Mekor Haim (Porto)

A Sinagoga Mekor Haim (“Fonte de Vida”) (Figura 3.8) é a maior sinagoga da Península Ibérica. [32]

Localizada no Porto, na Rua de Guerra Junqueiro da freguesia de Massarelos, foi graças aos esforços do capitão Barros Basto que a mesma foi erguida, tendo a primeira pedra sido lançada em 1929 e acabou por ser inaugurada em 1938. [32]



Figura 3.8 – Sinagoga Mekor Haim (Porto) [Foto do autor]

### 3.2.2.4. Sinagoga Beit Eliahu (Belmonte)

A Sinagoga Beit Eliahu (“Filho de Elias”) (Figura 3.9) situa-se na zona da antiga judiaria (Rua da Fonte da Rosa) e foi inaugurada em 1996. [41]

A Comunidade Judaica de Belmonte foi oficialmente reconhecida em 1989, e possui para além da referida sinagoga, um Cemitério Judaico (*fortune Azoulay*) inaugurado em 2001. [41]



Figura 3.9 – Sinagoga Beit Eliahu (Belmonte) [42]

### 3.2.2.5. Sinagoga Sahar Hassamain (Ponta Delgada)

A Sinagoga Sahar Hassamain (Figura 3.10) situa-se na Rua do Brum em Ponta Delgada e é uma das sinagogas mais antigas de Portugal e um dos únicos vestígios da cultura hebraica no arquipélago dos Açores.

Construída em 1836 foi cedida pela Comunidade Judaica de Lisboa (proprietária do imóvel) encontra-se em reabilitação como local de culto e também irá acolher uma biblioteca e um museu judaico. [43]



Figura 3.10 – Sinagoga Sahar Hassamain antes da reabilitação (Ponta Delgada) [44]

### 3.2.2.6. Sinagoga de Tomar – Museu Luso-Hebraico Abraão Zacuto (Tomar)

Este museu foi edificado na única sinagoga sobrevivente ao decreto manuelino de expulsão. Foi declarada monumento nacional em 1921 e em 1923 foi adquirida por Schwarz. Este doou ao Estado o edifício em 1939 para aí instalar o Museu Hebraico. Em 1942/43 foi então alvo de obras para adaptar a Sinagoga de Tomar no actual Museu Luso-Hebraico Abraão Zacuto (Figura 3.12). [34, 45]

A nível acústico esta sinagoga tinha algo de extremamente inovador para altura, que era o uso de bilhas de barro invertidas e embutidas nas paredes (Figura 3.11), que funcionavam como autênticos ressoadores.

Situa-se na Rua Doutor Joaquim Jacinto em Tomar.

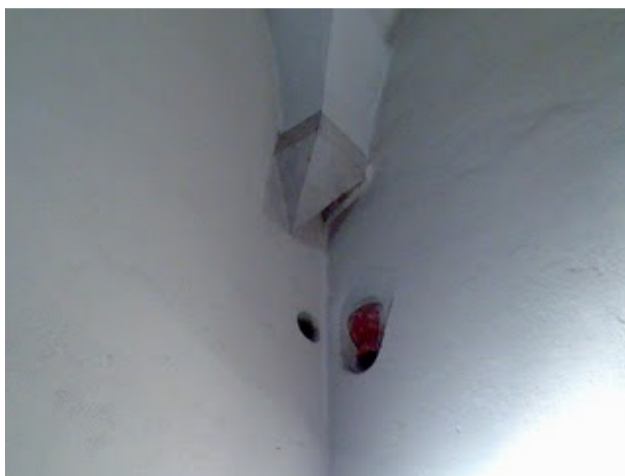


Figura 3.11 – Sinagoga de Tomar – pormenor das aberturas dos vasos embutidos nas paredes [46]



Figura 3.12 – Sinagoga de Tomar (Tomar) [47]

### 3.2.3. OS JUDEUS EM PORTUGAL

Após o último censo (2001) foi possível ter uma ideia mais próxima da realidade do judaísmo em Portugal, isto é, do número de judeus existentes assim como da sua distribuição pelo país. [34]

Em 2001 o número de pessoas que afirmaram praticar o Judaísmo foi de 1.773, sendo que 1.743 se encontram em Portugal Continental. [34]

Os dez concelhos que em 2001 tinham mais judeus declarados eram o concelho de Lisboa (351), Cascais (127), Belmonte (75), Sintra (66), Porto (64), Oeiras (56), Almada (51), Braga (46), Seixal (40) e Mirandela (37). [34]

Verificava-se também que em 2001, mais de 62% encontravam-se distribuídos por quatro grandes zonas. A zona da Grande Lisboa e do Grande Porto tinham 686 e 163 judeus declarados, respectivamente. A Península de Setúbal e a Cova da Beira eram as outras duas grandes zonas, com 155 e 105 judeus declarados respectivamente. [34]

Na Grande Lisboa os concelhos com mais judeus eram os concelhos de Lisboa e Cascais, que sozinhos tinham um total de 478 judeus declarados. [34]

No Grande Porto eram três os concelhos que tinham maior destaque, sendo eles Porto, Matosinhos e Vila Nova de Gaia. [34]

Na Península de Setúbal, Almada e Seixal eram os dois concelhos mais significativos, e na Cova da Beira, 75 dos 105 judeus declarados pertenciam ao concelho de Belmonte. [34]



## 4

## ACÚSTICA NAS SINAGOGAS

## 4.1. INTRODUÇÃO

A palavra sinagoga deriva do grego e significa “reunião”. Do hebraico recebe o nome de *beth keneseth* que significa “casa de assembleia”. Representa os templos de Jerusalém e evoca a saudade dos dois templos destruídos. [48, 49]

A sinagoga deve ser construída de maneira a que a comunidade, ao realizar as suas orações, esteja virada para Jerusalém, além de outras particularidades, tais como a colocação da “Arca da Aliança”<sup>5</sup> (*aron kodesh*). [48]

Sendo o Judaísmo a mais antiga das três principais religiões monoteístas, a arquitectura das sinagogas antecede a arquitectura de igrejas e mesquitas. Após a destruição do Templo de Salomão, os rabinos proibiram o uso de instrumentos musicais nos locais de culto no *Shabat* e nas festividades cíclicas. Para além da voz, o único instrumento que era autorizado era o *Shofar*<sup>6</sup> (Figura 4.1) utilizado durante o período entre o *Rosh Hashana* (festa do Ano Novo) e o *Yom Kipur* (festa do dia do perdão, do arrependimento e do grande jejum). Este facto tem especial relevo, tendo em conta que hoje em dia, em grande parte das sinagogas continua a não ser permitido o uso de qualquer tipo de instrumento musical, ou mesmo amplificação sonora eléctrica. [48, 49]



Figura 4.1 – Exemplo de um *Shofar* [50]

<sup>5</sup> Local onde se guardam os rolos da Tora

<sup>6</sup> Instrumento de sopro feito do chifre de qualquer animal excepto bovino

Das primeiras sinagogas construídas há poucos registos e informações, no entanto, foram encontradas em escavações várias ruínas de algumas das construídas nos primeiros séculos d.C., onde é possível constatar que eram simples espaços rectangulares de oração, baseados na forma das basílicas romanas. Uma destas sinagogas descobertas é a sinagoga de Gamla, em Israel (Figura 4.2). [49]



Figura 4.2 – Ruínas da sinagoga de Gamla, Israel [51]

No geral, estas sinagogas tinham dimensões relativamente pequenas, tendo uma área na maior parte das vezes inferior a 200 m<sup>2</sup>. [7]

Uma das maiores sinagogas encontrada é a Kfar Nachum (Figura 4.3 e Figura 4.4), com dimensões (pelo exterior) de 24,5 metros por 18,7 metros, e com paredes de espessura superior a um metro. Esta sinagoga encontra-se próxima da margem noroeste do Mar da Galileia, tendo como materiais de construção a pedra, madeira e cerâmica, tudo materiais acusticamente muito reflectores, sendo a absorção sonora garantida pelas aberturas para entrada de luz, tecto e pelas pessoas que se encontravam a orar. [49, 52]



Figura 4.3 – Vista aérea das ruínas da sinagoga Kfar Nachum, Israel [52]



Figura 4.4 – Ruínas da sinagoga Kfar Nachum, Israel [52]

Após a construção do Segundo Templo de Jerusalém (séc. VI a.C.), as sinagogas mantiveram-se como locais de oração. Depois da diáspora que se verificou após começo do período de domínio romano, havia mais judeus fora que dentro de Israel. [49]

Nas pequenas sinagogas israelitas, a inteligibilidade da palavra devia ser bastante elevada devido ao seu tamanho e aos materiais usados na sua construção, duros e bastante reflectivos acusticamente. Contudo, havia algumas sinagogas com dimensões bastante grandes, o que nesse caso não favorecia a inteligibilidade da palavra. Um exemplo deste acontecimento é referido no Talmude, escrito durante o exílio dos judeus na Babilónia, relativamente à Grande Sinagoga em Alexandria. É referido que a inteligibilidade da palavra era tão baixa, que havia a necessidade de abanar uma bandeira para indicar aos congregantes que se encontravam mais afastados, o momento de resposta. [49]

Com o passar do tempo, e devido à história do judaísmo, algumas sinagogas foram tomando novas funções, como por exemplo hospícios ou mesmo providenciando alguns quartos para viajantes que necessitassem. Com a expulsão dos judeus de alguns países, algumas sinagogas foram convertidas em igrejas, como é o caso da Igreja de Santa Maria La Blanca, em Toledo, Espanha (Figura 4.5). [49]



Figura 4.5 – Igreja Santa Maria La Blanca (antiga sinagoga) (Toledo, Espanha) [53]

Devido às limitações impostas aos judeus pela Igreja e pelo Islão relativas à construção de sinagogas, as que foram construídas na Idade Média tinham sempre dimensões bastante reduzidas, quer em planta quer em altura. Isto fazia com que a inteligibilidade da palavra fosse previsivelmente boa. [49]

## 4.2. DIFERENÇAS ENTRE MOVIMENTOS DE JUDAÍSMO

### 4.2.1. INTRODUÇÃO

No seguimento da apresentação feita no capítulo anterior (ponto 3.1.3) sobre as diversas comunidades judaicas, é necessária fazer uma nova comparação, desta vez, sobre questões relacionadas com as práticas religiosas e de grande importância para a acústica das sinagogas. [49]

Tradicionalmente, no serviço Asquenazi, as primeiras partes do serviço consistem na oração individual por parte de cada congregante, exceptuando algumas partes em que são oradas todos em conjunto. O uso de um coro separado é muito raro, contudo, é usual haver alguns “ajudantes” que assistem o cantor litúrgico, chamado de chanter. Cerca de 20% da liturgia é cantada pela congregação e 35% pelo chanter a solo. Os restantes 45% são passados em silêncio e/ ou com algumas recitações em voz baixa por cada membro. Não é permitido o uso de instrumentos musicais nem sistema eléctrico de som. [49]

O serviço *Sefardita* envolve um maior tempo cantado em uníssono por parte da congregação. Muitas vezes, a parte inicial do serviço é passada de congregante em congregante, e aproximadamente todo o serviço é cantado. Durante os períodos de canto a solo costuma haver respostas frequentes por parte de toda a congregação com uma, duas ou três palavras para além do usual Ámen. [49]

### 4.2.2. MOVIMENTO ORTODOXO

O serviço litúrgico consiste na leitura por parte da comunidade do texto do livro das orações e também na leitura de algumas partes da Tora, principalmente no *Shabat*. Esta leitura é realizada pelo chanter e às vezes por um pequeno coro mas sem qualquer tipo de instrumento ou amplificação sonora. [49]

O esquema básico de muitas sinagogas modernas é apresentado na Figura 4.6 e tem por base as antigas sinagogas. O chanter assinalado na figura com a letra “C” realiza o serviço de duas maneiras, quer de um modo contínuo, quer de um modo que poderemos designar por oração interrompida. Na maior parte do tempo, o chanter apenas lê alto as últimas linhas de cada oração, actuando por forma a sincronizar a oração de todos os congregantes. A oração interrompida não necessita de uma inteligibilidade da palavra muito boa, por isso, não há problema de este se encontrar à frente dos congregantes, próximo da Arca da Aliança e de frente para esta. [49]

Quando existe o chamado “serviço completo” (mais de 10 judeus homens, judeus de pleno direito presentes), a Tora sai da Arca da Aliança e é levada para a Bimá para aí ser lida por alguém especializado na arte do canto (letra “L” na Figura 4.6). Visto que a leitura da Tora é realizada virada para a Arca da Aliança e haver a necessidade de os congregantes serem capazes de ouvir e perceber todas as palavras, tem de haver logo à partida um limite máximo para a dimensão da sinagoga. [49]

O Rabino (letra “R” na Figura 4.6) fala sobre a leitura da Tora virado para a assembleia. Se a sinagoga for relativamente pequena, a inteligibilidade da palavra vai ser elevada desde que o tempo de reverberação seja suficientemente pequeno. [49]

O Judaísmo Ortodoxo requer que os homens e as mulheres estejam fisicamente separados numa sinagoga. A Figura 4.7 apresenta um esquema tradicional de sinagoga, em que as mulheres se encontram num piso superior e os homens no piso da Bimá. [49]

Outro tipo de localização de homens e mulheres numa sinagoga é apresentado na Figura 4.8. Este esquema, mais típico em sinagogas pequenas e também mais modernas, apresenta a separação entre homens e mulheres através de uma tela opaca. [49]

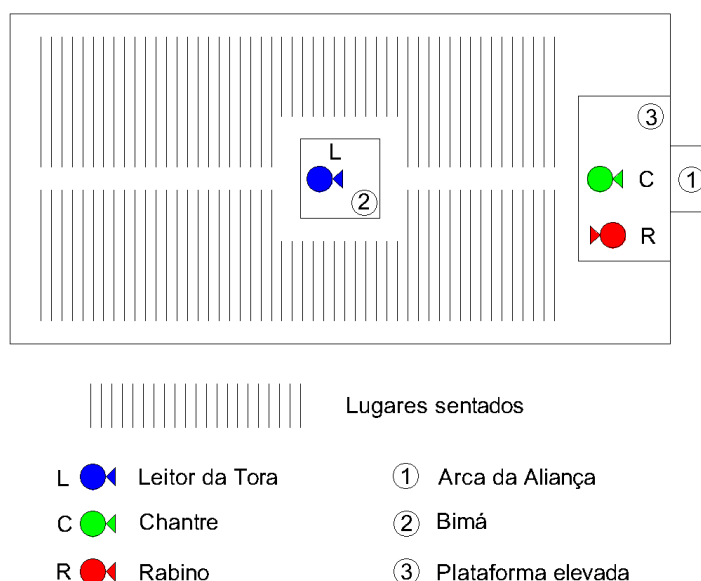


Figura 4.6 – Representação esquemática de uma sinagoga ortodoxa (localização dos homens)

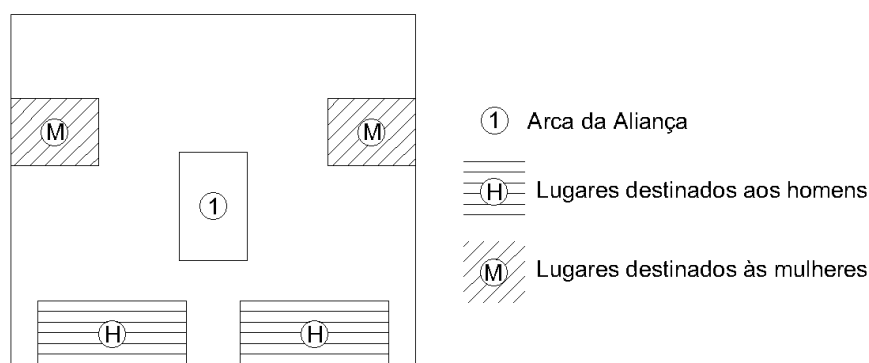


Figura 4.7 – Localização dos homens e mulheres numa sinagoga ortodoxa (situação tradicional)

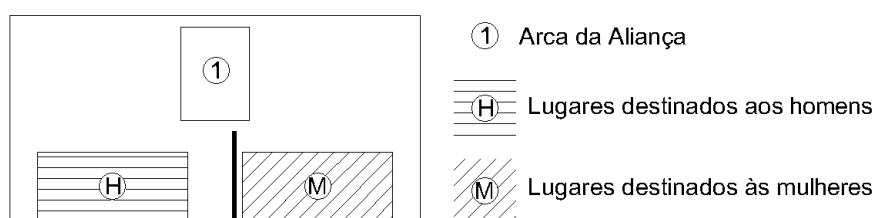


Figura 4.8 – Localização dos homens e mulheres numa sinagoga ortodoxa (situação com tela opaca)

Como o tempo de reverberação é afectado pelo volume da sala, a altura a que se encontra o tecto é de extrema importância. Na generalidade dos casos, a maior parte dos oradores são homens, o que faz com que os balcões onde se encontram as mulheres estejam muitas vezes vazios. Isto provoca uma falta de absorção sonora necessária muitas vezes para controlar o tempo de reverberação. Por forma a controlar esta falta de absorção, muitas sinagogas utilizam bancos almofadados. [7]



#### 4.2.3. MOVIMENTO HASSÍDICO

No Movimento Hassídico, o tamanho das sinagogas pode variar muito. As sinagogas tanto podem ser pequenas, com cerca de 20 a 30 m<sup>2</sup> e de pé-direito reduzido, como é o caso das sinagogas conhecidas por *Shtiebl* (exemplo na Figura 4.9), como podem ter grandes dimensões, como é o caso da Grande Sinagoga no *Belz World Center* em Jerusalém (Figura 4.10), com capacidade para cerca de 6.000 pessoas. [49]

Na Grande Sinagoga no *Belz World Center* em Jerusalém, apesar do baixo ruído de fundo que se faz sentir, o auditório necessita de oradores com vozes de qualidade quase ao nível de cantores de Ópera, para que seja assegurada a boa inteligibilidade da palavra, visto que também neste caso, o reforço acústico não é permitido. [49]

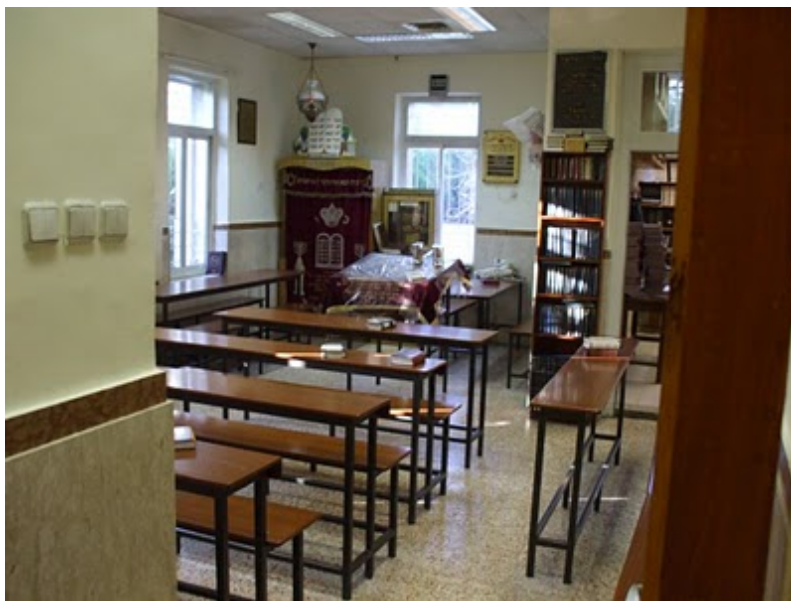


Figura 4.9 – Interior de uma *Shtiebl* [54]



Figura 4.10 – Interior da Grande Sinagoga no *Belz World Center* em Jerusalém [55]

#### 4.2.4. MOVIMENTO REFORMISTA

O Movimento Reformista modelou o seu serviço religioso por forma muito idêntica ao do Cristianismo. O tempo de serviço foi encurtado e vários textos foram eliminados ou mesmo modificados por novas orações. No serviço do Movimento Reformista existe música como complemento à oração, assim como também é possível haver órgãos no interior das sinagogas, que neste movimento são designadas por templos. [49]

A disposição dos diversos elementos que compõem o serviço também é diferente, tal como se pode observar através da Figura 4.11.

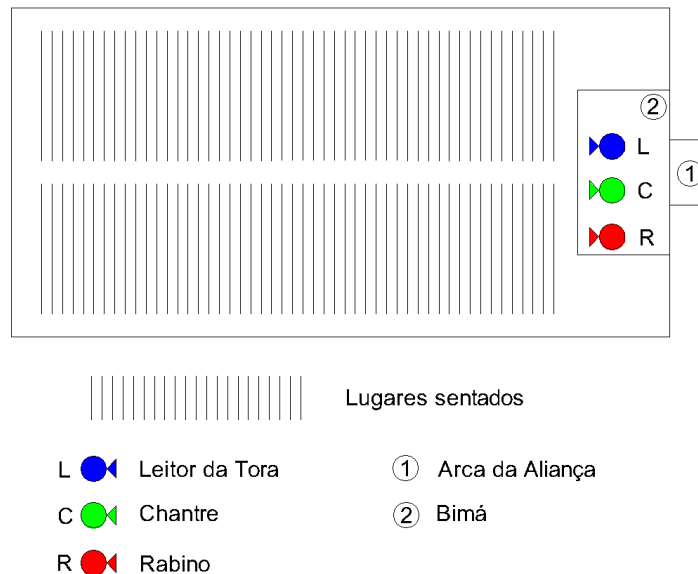


Figura 4.11 – Representação esquemática de uma sinagoga reformista

Os homens e as mulheres podem sentar-se juntos e têm um papel igual durante todo o serviço. A ordem das orações é fixa e a assembleia tem um papel passivo, respondendo com “améns” ou de forma similar. Não é usual haver cânticos por parte da assembleia, contudo pode haver algum coro pago específico para essa função. Os templos reformistas que têm órgãos de tubos de grande qualidade enfrentam o problema de inteligibilidade da palavra *vs.* qualidade acústica musical, que também existe nas igrejas protestantes e católicas (necessidade de baixos valores de tempo de reverberação para a inteligibilidade da palavra, e altos para a qualidade acústica musical). No movimento reformista, para além de ser permitido o uso de instrumentos, também é permitido o uso de sistema eléctrico de sonorização. [49]

Outra grande diferença entre o serviço dos ortodoxos e dos reformistas tem a ver com o posicionamento do chantre. Este encontra-se também próximo da Arca da Aliança, mas virado para a assembleia. Esta diferença prende-se sobretudo por questões acústicas. [49]

As sinagogas reformistas podem ser projectadas para terem tempos de reverberação razoavelmente longos, adequados para música do órgão de tubos, otimizando a inteligibilidade da palavra através do sistema de som. Existem casos em que devido a isto, a inteligibilidade da palavra é tão fraca que só mesmo com recurso a sistema de reforço electroacústico é que é possível ter as condições necessárias para realização do serviço religioso. Um exemplo disto é a sinagoga em Gotemburgo, na Suécia (Figura 4.12). [49]

Um dos maiores templos reformistas é a Sinagoga Central de Manhattan (Figura 4.13) com mais de mil lugares sentados. [49]



Figura 4.12 – Sinagoga de Gotemburgo (Suécia) [56]



Figura 4.13 – Sinagoga Central (Manhattan, Nova Iorque) [57]



#### 4.2.5. MOVIMENTO CONSERVADOR

O movimento conservador, tal como referido em 3.1.3, pode ser considerado o ponto intermédio entre a ortodoxia e o movimento reformista. Apesar de terem mantido a maior parte das tradições antigas dos ortodoxos, adoptaram a arquitectura das sinagogas do movimento reformista. [49]

É bastante usual a música com apoio a instrumentos e a acústica pode ser optimizada para a música. [49]

O Templo Israel em Albany, Nova Iorque (Figura 4.14) é um exemplo de um templo do movimento conservador. Uma vez mais o chanter está virado para a assembleia e é utilizada uma disposição em meia-lua para que seja encurtada a distância entre a assembleia e a Bimá. [49]



Figura 4.14 – Templo Israel (Albany, Nova Iorque) [58]

#### 4.3. NECESSIDADES ACÚSTICAS

As sinagogas são mais que simples locais de oração, são também locais de cultura. Os locais de culto requerem tratamentos acústicos únicos. [59]

Devido às exigentes necessidades acústicas destes locais, é possível considerar “dividir” em três zonas de comportamento acústico importante (Figura 4.15): [59]

- A primeira zona é a parte de trás do piso térreo e a zona do balcão (localização superior para as mulheres) onde é necessário um ambiente altamente absorvente;
- A segunda zona é relativa a todo o espaço interior, que requer condições de baixa reverberação;
- A terceira zona é a parte da frente, onde se encontra a maior parte das vezes a Arca da Aliança, que deve reflectir acusticamente para todas as outras zonas. [59, 60]

A parte mais importante no serviço religioso, sob o ponto de vista da inteligibilidade da palavra, é ser capaz de ouvir e perceber cada palavra da leitura da Tora. A solução encontrada para que isto fosse

possível foi a colocação da Bimá<sup>7</sup> no centro do piso térreo, elevada até oito degraus acima do solo. [49]

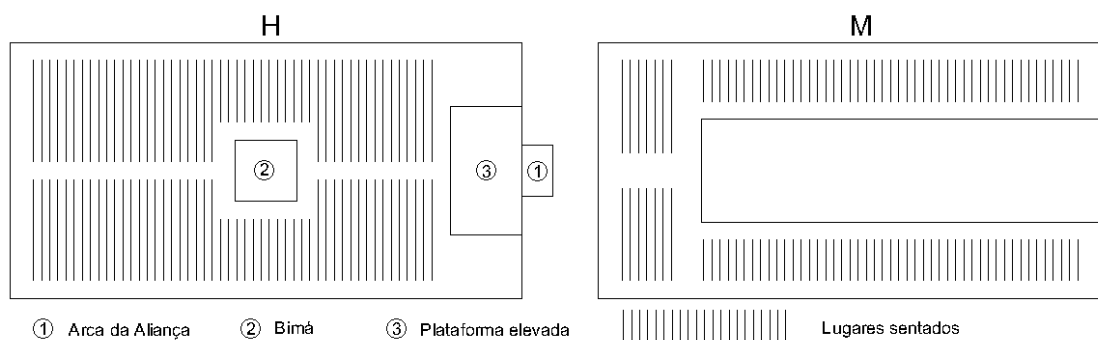


Figura 4.15 – Representação esquemática da localização dos diversos elementos de uma sinagoga (à esquerda o piso dos homens e à direita o piso das mulheres)

#### 4.4. REFLECTORES

Nas sinagogas ortodoxas, tradicionalmente, o chantre encontra-se virado para a Arca da Aliança, que na maior parte dos casos implica estar de costas para as restantes pessoas. Nestes casos é útil a existência de reflectores para que o som seja reflectido e direccionado para toda a gente que se encontra na sala e que consiga perceber o que está a ser dito. [7]

Para um reflector ser acusticamente eficiente é necessário ter em consideração a área total, a massa por unidade de área, assim como o ângulo de incidência das ondas sonoras, a rugosidade do elemento e que o comportamento é diferente caso se esteja perante um grupo de reflectores ou somente um elemento. [7]

Na Sinagoga de Gotemburgo (Figura 4.12) acontece um caso particular em que o próprio púlpito do rabino funciona como reflector para a voz do chantre. [7]

Na Figura 4.16 é possível visualizar um conjunto de reflectores colocados suspensos no tecto (também denominados de discos voadores ou nuvens), feitos de acrílico, e que neste caso não só funcionam de certo modo como difusores, como também ajudam a melhorar os problemas causados pela cúpula existente na Sinagoga Rodef Shalom em Pittsburgh. [7]



Figura 4.16 – Sinagoga Rodef Shalom (Pittsburgh, Pensilvânia, EUA) [61]

<sup>7</sup> Local onde é feita a leitura da Tora

#### 4.5. BARREIRAS ACUSTICAMENTE TRANSPARENTES – MECHITZA

Tal como visto anteriormente há a necessidade de os homens e as mulheres estarem separados fisicamente. Esta separação, quando não é passível de ser realizada através da existência de um piso térreo e de balcões, é realizada por uma barreira acusticamente transparente e que toma o nome de *mechitza*. [7]

Da Figura 4.17 à Figura 4.23 é possível verificar alguns tipos de *mechitza* em várias sinagogas.

Nas sinagogas ortodoxas a *mechitza* necessita de criar uma barreira visual, tomando assim alturas próximas dos 2 m de altura. [7]

Por sua vez, nas sinagogas ortodoxas modernas esta barreira não necessita de ser visual, pelo que podem ter a simples altura de 1 m. Apenas algumas sinagogas conservadoras e praticamente nenhuma reformista usam a *mechitza*. [7]



Figura 4.17 – Suburban Torah Center (Livingston, New Jersey, EUA) [62]



Figura 4.18 – Sinagoga Beth Israel (Vidalia, Georgia, EUA) [63]



Figura 4.19 – Congregação Ahavas Sholom, vista lado dos homens (Ohio, EUA) [64]



Figura 4.20 – Congregação Ahavas Sholom, vista lado das mulheres (Ohio, EUA) [64]

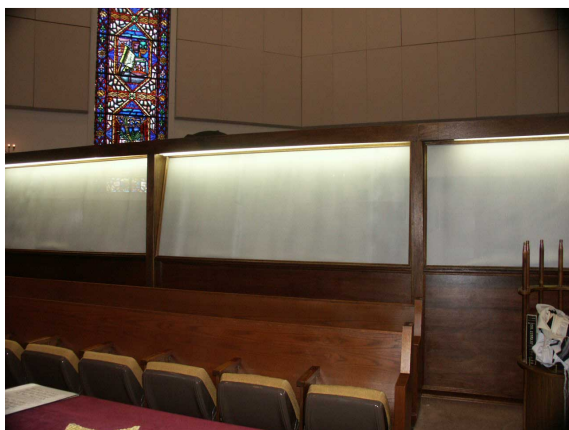


Figura 4.21 – Exemplo *mechitza*, vista lado dos homens [65]

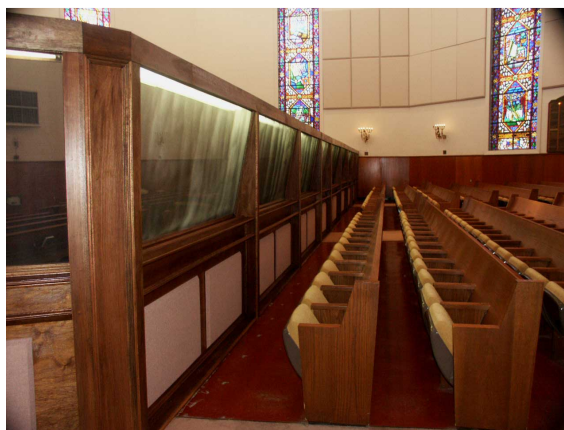


Figura 4.22 – Exemplo *mechitza*, vista lado das mulheres [65]

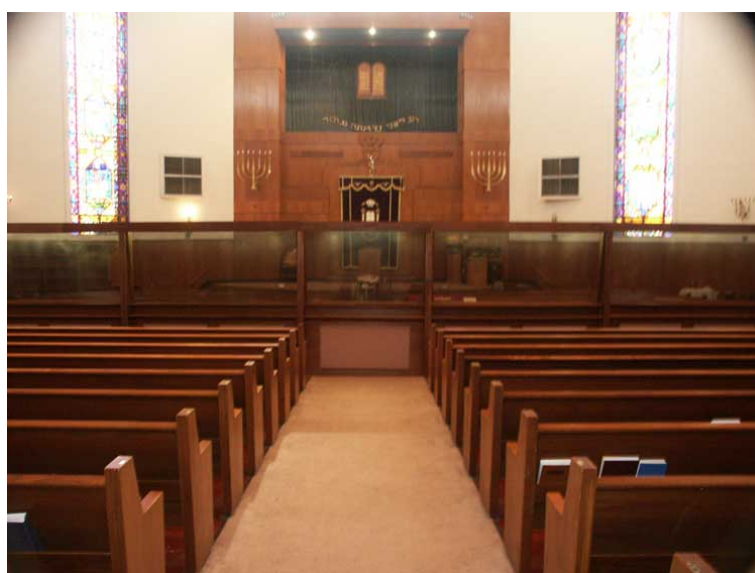


Figura 4.23 – Exemplo *mechitza*, vista lado das mulheres [65]

#### 4.6. CONTROLO DE RUÍDO

As cerimónias principais do Judaísmo Conservador ou Ortodoxo, realizadas no *Shabat* são longas e podem chegar às três horas de duração. Isto implica que haja uma grande probabilidade de existir ruídos de fundo, quer sejam crianças que podem estar a mover-se de um lado para o outro, alguma conversa ocasional entre alguns elementos da assembleia, ou mesmo pessoas a entrarem e a saírem do espaço. Às vezes este ruído de fundo pode ser bastante perceptível, apesar de existir uma regra que não permite o ruído durante os momentos de oração. [49]

Os problemas de ruído gerados pelos equipamentos de AVAC, assim como de algum tipo de iluminação são, como em qualquer outro espaço de oração, situações a ter sempre em atenção numa sinagoga. [49, 60]



Nas sinagogas ortodoxas, o ruído de fundo é uma questão ainda mais problemática, e com necessidade para uma especial atenção, uma vez que não é permitido o uso de qualquer tipo de amplificação sonora. [49]

Um baixo nível de ruído também é necessário para que seja possível a interpretação de música numa sinagoga que conta com dimensões relativamente grandes, características das sinagogas reformistas. [49]

Em muitas sinagogas, qualquer que seja a tradição a que estão associadas, existe um átrio de entrada adjacente ao local de culto em si, mas separado por elementos que podem ser portas de correr, em fole, madeira, etc., que podem ser abertas em dias festivos para aumentar a capacidade da sinagoga. Muitas vezes as pessoas que se encontram neste átrio, não se apercebem que podem ser ouvidas no local de culto, mesmo com a separação fechada. Deste modo, os elementos de separação usados entre o átrio e o local de culto devem possuir um isolamento sonoro elevado. [49]

Outro aspecto causador de ruído numa sinagoga está relacionado com as escadas que dão acesso aos balcões através do ruído de percussão que se faz com os pés nos degraus. [49]

#### 4.7. SISTEMAS SONOROS

Os locais de culto tradicionais do Judaísmo costumam ter poucos problemas relacionados com a inteligibilidade da palavra, no entanto, quando as dimensões começam a ultrapassar os 15 m de comprimento e largura, começa-se a notar uma perda de poder do orador, a não ser que seja utilizado um sistema sonoro. [49]

Numa sinagoga (não ortodoxa), os sistemas de som costumam ser fixos, com uma localização central ou distribuídos. Na Figura 4.24 são apresentados algumas formas de posicionamento dos sistemas de som em locais de culto. [49]

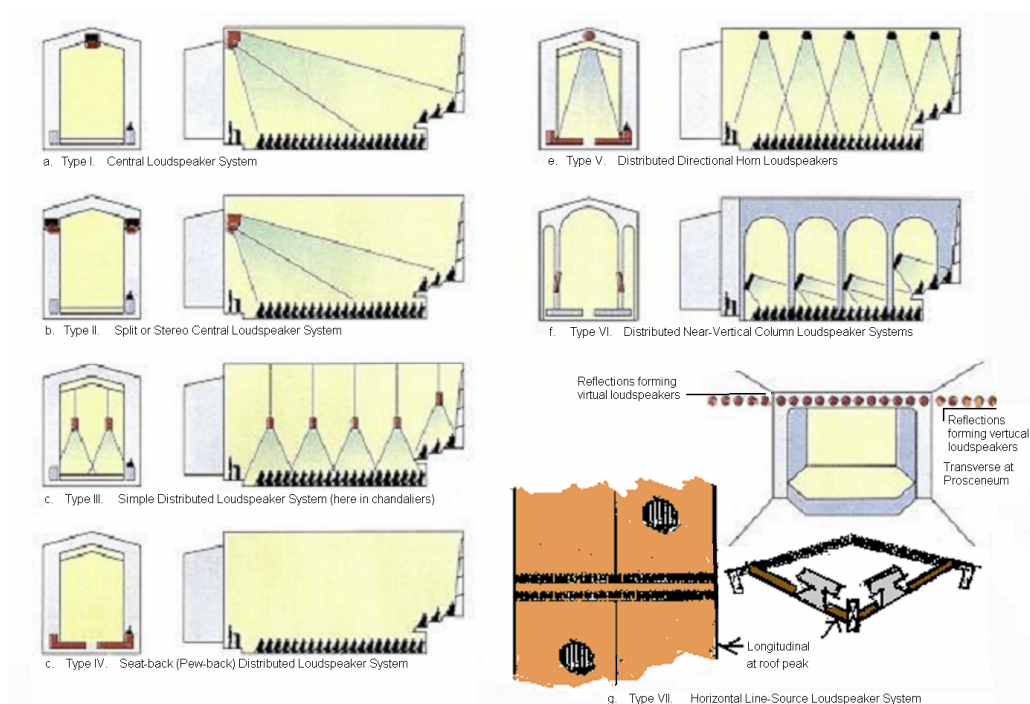


Figura 4.24 – Esquema do posicionamento mais comum dos sistemas de reforço electroacústico em locais de oração [49]

Os sistemas de som com localização central podem ser colocados de forma distribuída ao longo da sinagoga, como também ser utilizado um único elemento localizado por cima da Arca da Aliança, que é um local onde costuma existir bastante espaço caso se pretenda que o sistema de amplificação se encontre escondido (Figuras 4.25 e 4.26). [7]

Os sistemas de som distribuídos poderão ser aplicados, por exemplo, nos pilares que existam na sinagoga, como também na parte de trás dos bancos da assembleia (Figuras 4.27 e 4.28). [7]

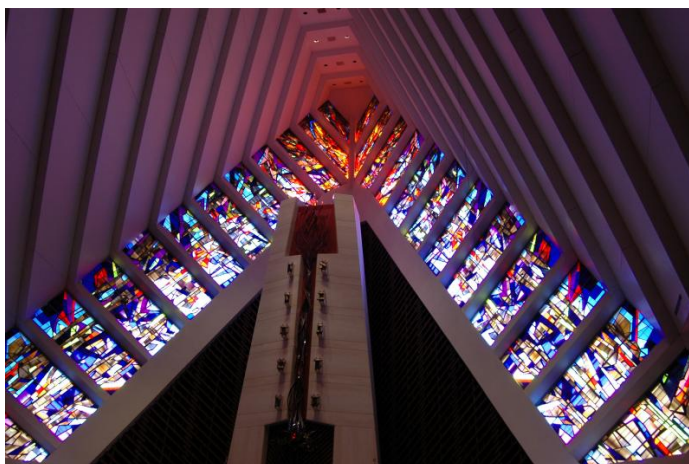


Figura 4.25 – Sistema de reforço electroacústico localizado por cima da Arca da Aliança na Congregação Sha'arey Zedek (Southfield, Michigan, EUA) [66]

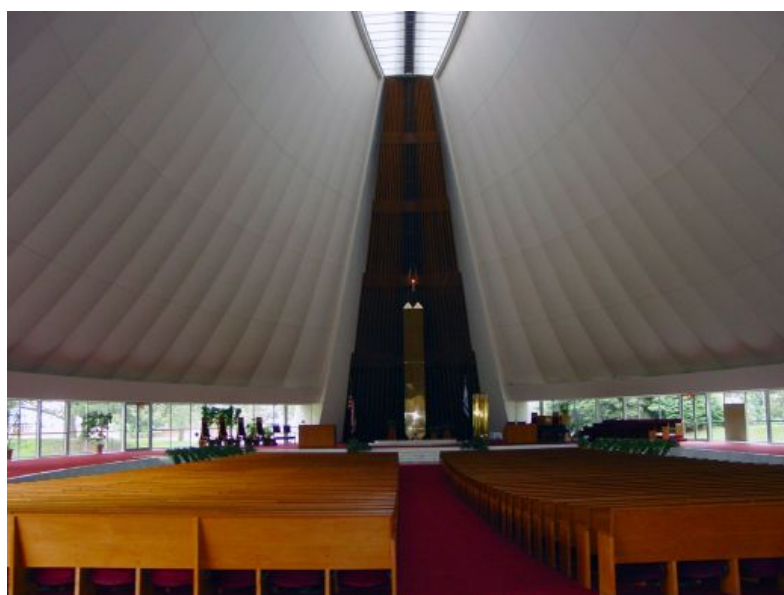


Figura 4.26 – Sistema de reforço electroacústico localizado por cima da Arca da Aliança na Congregação Beth El (Bloomfield Hills, Michigan, EUA) [67]

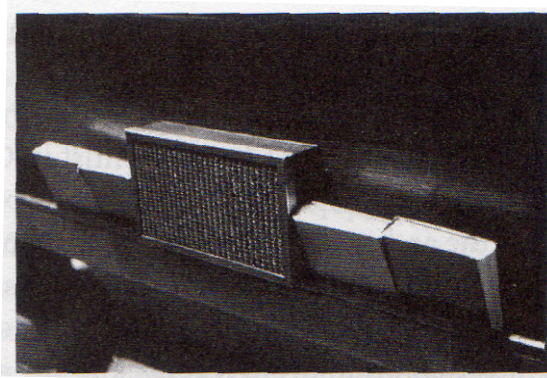


Figura 4.27 – Sistema de reforço electroacústico localizado nas costas dos bancos [7]

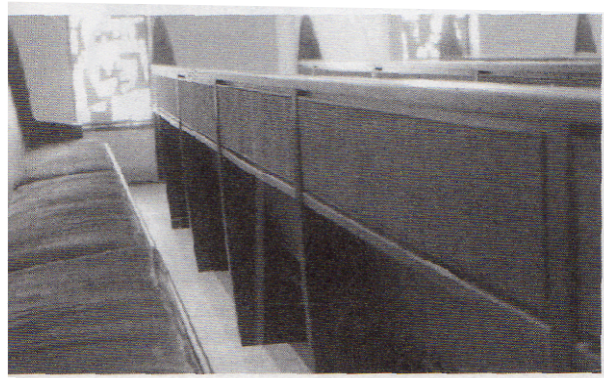


Figura 4.28 – Sistema de reforço electroacústico localizado nas costas dos bancos [7]

Nos serviços ortodoxos, os únicos sistemas sonoros permitidos incluem aquilo que em inglês se denomina de *fluidic-air-only and single-sided electrical systems*. Os sistemas deste tipo mais recentes são capazes de proporcionar a mesma qualidade que qualquer sistema convencional. [7, 68]

A primeira congregação ortodoxa a utilizar sistema de amplificação sonora no *Shabat* foi a congregação Shearit Israel em Nova Iorque (Figura 4.29). O sistema utilizado é aprovado pelo *Zomet Institute*<sup>8</sup>, Alon Shvut, Israel. [7]



Figura 4.29 – Sinagoga Shearith Israel (Nova Iorque, EUA) [69]

<sup>8</sup> Instituto público de pesquisa sem fins lucrativos que se dedica à investigação de soluções para adaptar diversos equipamentos do dia-a-dia às regras do Judaísmo durante, por exemplo, o *Shabat*



A Sinagoga Hampton em Westhampton Beach, Nova Iorque (Figura 4.30) é mais um exemplo de uma moderna sinagoga ortodoxa com recurso ao sistema de amplificação sonora aprovado pelo *Zomet Institute*. O sistema utilizado e embutido na parede direcciona o som para as pessoas sem causar reverberação. [49]



Figura 4.30 – Sinagoga Hampton (Westhampton Beach, Nova Iorque, EUA) [70]



# 5

## A SINAGOGA MEKOR HAIM – PORTO

### 5.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A 18 de Dezembro de 1887 nasceu, em Amarante, Artur Carlos de Barros Basto. Sendo de origem marrana<sup>9</sup>, teve educação católica mas tomou conhecimento através do seu avô da sua ascendência judaica e da doutrina hebraica. [71]

Em 1906 foi para Lisboa para cumprir o serviço militar e tenta começar a frequentar a sinagoga de Lisboa, mas não é aceite a sua integração na congregação. [71]

Participou na Implantação da República a 5 de Outubro de 1910, tendo sido inclusivamente ele a hastear a bandeira republicana na Câmara Municipal do Porto. [32, 71]

Participou na 1ª Guerra Mundial, tendo recebido várias condecorações e sido promovido a capitão. Posteriormente viajou para Tânger onde foi admitido na grande comunidade judaica aí existente. Foi circuncidado e recebeu o nome hebraico de Abraham Israel Ben-Rosh. [32, 71]

Em 1922 foi nomeado director da prisão militar do Porto e um ano depois, criou a Comunidade Israelita do Porto. [71]

Após a criação da Comunidade Israelita do Porto, o Capitão Barros Basto iniciou aquilo que é conhecido por “Obra do Resgate”, que consistiu em reconverter ao Judaísmo todos os marranos que tinham permanecido fiéis à sua fé após o período da inquisição. [32]

A forma do judaísmo internacional colaborar no resgate dos marranos passava pela criação de uma estrutura própria, pelo que se fundou o *Portuguese Marranos Committee*, com sede na londrina *Spanish & Portuguese Synagogue* – Heneage Lane, Bevis Marks e constituído por representantes da *Spanish and Portuguese Jew's Congregation of London*, da *Alliance Israelite Universelle* e da *Anglo Jewish Association*. [34]

Em Abril de 1927, o *Portuguese Marrano Committee* lançou um apelo internacional de ajuda financeira à Comunidade do Porto, para que levasse a bom termo o resgate dos marranos portugueses. [34]

Com estes apoios foi possível ao Capitão Barros Basto levar avante a “Obra do Resgate” e também, a 30 de Junho de 1929 ser lançada a primeira pedra para a construção da Sinagoga Mekor Haim (“Fonte de Vida”) que contou com o apoio, para além de capitais holandeses e ingleses (*Portuguese Marrano*

<sup>9</sup> Designação dada aos judeus convertidos à força ao Cristianismo (Cristãos-Novos) mas que mantinham em segredo a cultura, tradições e práticas do Judaísmo

*Committee*), também da família Kadoorie<sup>10</sup>. Foi inaugurada a 16 de Janeiro de 1938, numa altura em que se começavam a destruir e queimar algumas sinagogas um pouco por toda a Europa e ocorria o anti-semitismo e a ameaça nazi. [32]

Até à inauguração da Sinagoga Mekor Haim em 1938, a Comunidade Israelita do Porto tinha instalado a sua primeira sinagoga na Rua Elias Garcia, que passou, sucessivamente, para a Rua de Fernandes Tomás (6 de Abril de 1924), para a Rua do Bonjardim (19 de Fevereiro de 1925), para a Rua do Poço das Patas (1 de Junho de 1927) e por último, para a Rua 5 de Outubro (1929). [34]

Durante a 2ª Guerra Mundial, a Sinagoga Mekor Haim serviu de apoio aos milhares de refugiados que passaram por Portugal, na sua maioria de ascendência Asquenazi, sendo que muitas famílias acabaram por ficar no Porto, tornando-se membros da Comunidade do Porto. [32]

Artur Carlos da Barros Basto morreu no ano de 1961 com 74 anos.

## 5.2. CARACTERIZAÇÃO DA SINAGOGA MEKOR HAIM

A Sinagoga Mekor Haim situa-se na Rua de Guerra Junqueiro, na freguesia de Massarelos, no Porto, entre a Rua de Soares de Passos e a Rua de João Martins Branco (Figura 5.1 e Figura 5.2). É possível visualizar a fachada da Sinagoga de várias posições na Rua de Guerra Junqueiro nas Figuras 5.3 e 5.4.

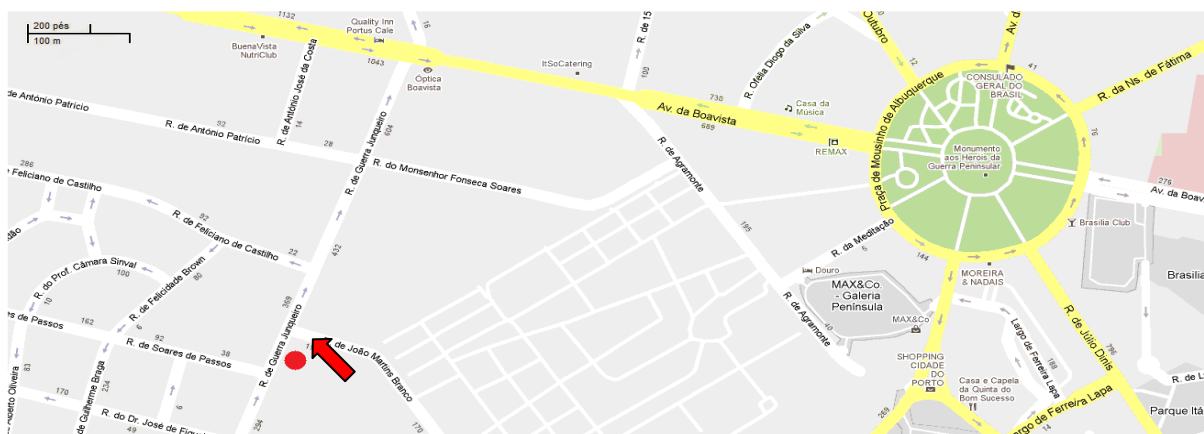


Figura 5.1 – Localização da Sinagoga Mekor Haim (Porto) [72]

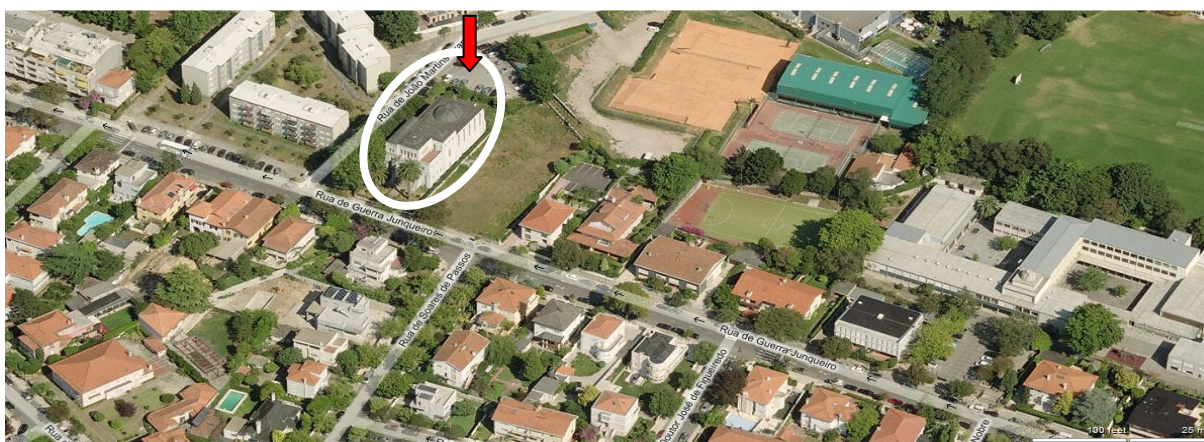


Figura 5.2 – Vista aérea da localização da Sinagoga Mekor Haim (Porto) [73]

<sup>10</sup> Família anglo-iraquiana originária de Bagdá



Figura 5.3 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Fachada lateral (vista da Rua de Guerra Junqueiro) [Foto do Autor]



Figura 5.4 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Entrada principal (vista da Rua de Guerra Junqueiro) [Foto do Autor]

A Sinagoga do Porto é a maior da Península Ibérica e é constituída por três pisos e uma cave. As plantas podem ser vistas da Figura 5.5 à Figura 5.8. O piso térreo é composto pelo local de culto dos homens (Figura 5.14), por um pequeno átrio (Figura 5.9) e também por uma sala dedicada à direcção da Comunidade Israelita do Porto [32]. No piso 1 encontra-se a zona de culto destinada às mulheres, duas casas de banho, e uma zona que antigamente era uma biblioteca e uma escola destinada às



gerações mais novas, e que agora se encontra transformado no Museu Barros Basto (Figuras 5.10 e 5.11). O átrio de acesso à zona de culto das mulheres foi adaptado para que seja possível a visualização de filmes (Figura 5.12). No piso 2 existem dois quartos, uma casa de banho, cozinha, uma sala e escritório, e também uma sala para jantares comunitários. Neste 2º piso existe também um terraço virado a Sul e a Poente. Na cave existe o *Mikvá* (ou *Mikvé*) que é o local destinado ao ritual dos banhos de imersão. Na cave existe também um espaço de residência de uma família da comunidade. Existem também quatro cúpulas, sendo que as principais são apenas duas e que estão associadas à zona de culto e à sala de jantares comunitários no piso 2.

A zona de culto dos homens tem uma área de implantação de  $222 \text{ m}^2$  e um pé-direito duplo que chega aos 14,06 m no ponto mais alto da cúpula e aos 10,18 m no ponto mais baixo da mesma. Na zona dos balcões o pé-direito é de 4,35 m. A área da zona de culto das mulheres é de  $112 \text{ m}^2$  e tem um pé-direito de 5,68 m. O volume total da zona de culto da sinagoga é de  $2.399 \text{ m}^3$ .

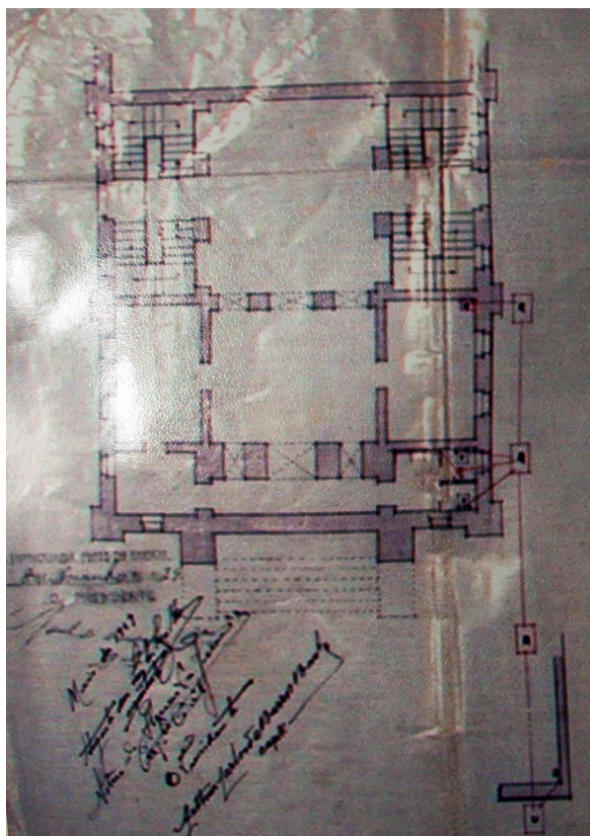


Figura 5.5 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Planta  
Piso -1 [Foto do Autor]

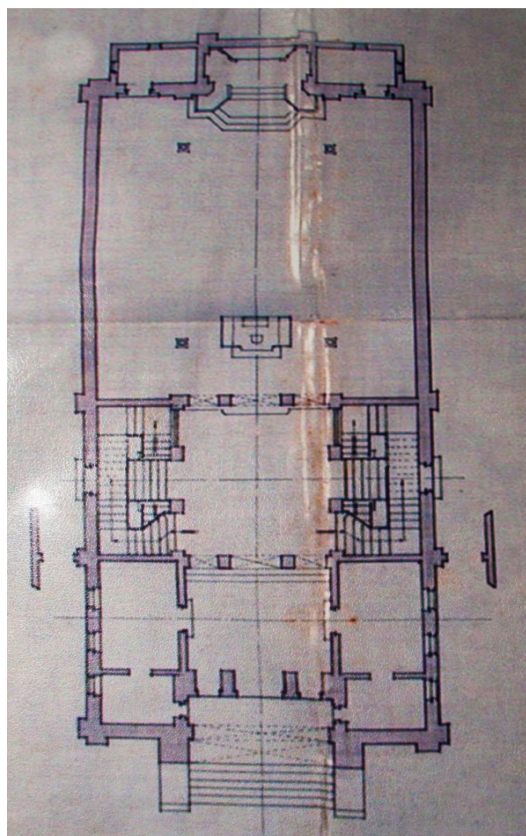


Figura 5.6 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Planta  
Piso 0 [Foto do Autor]

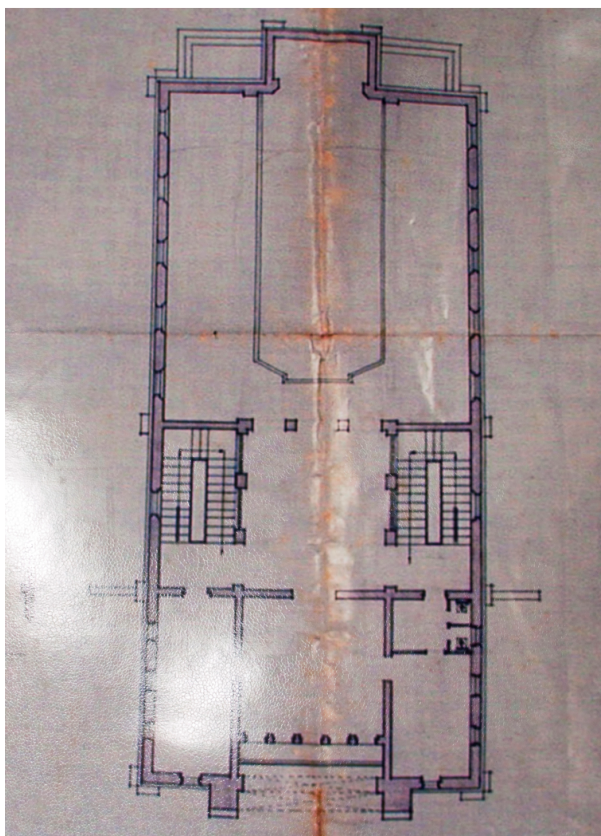


Figura 5.7 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Planta  
Piso 1 [Foto do Autor]

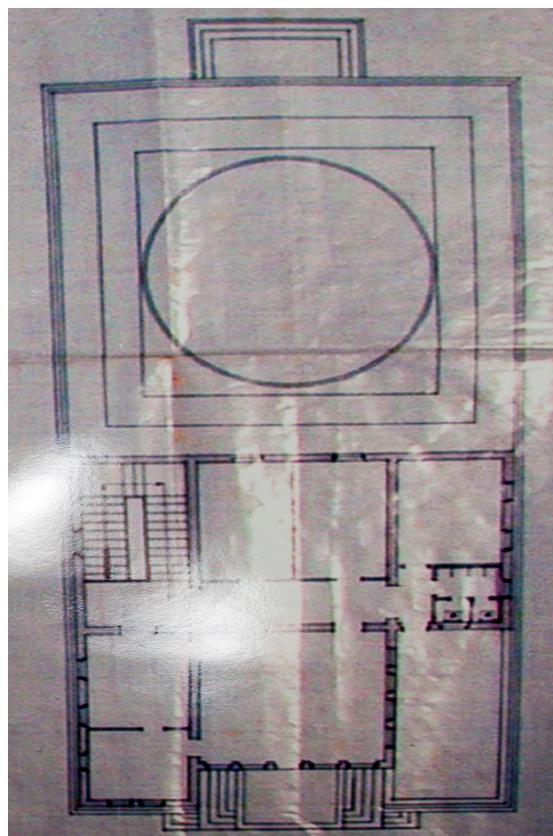


Figura 5.8 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Planta  
Piso 2 [Foto do Autor]



Figura 5.9 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Átrio [Foto do Autor]





Figura 5.10 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Museu Barros Basto (antiga biblioteca) [Foto do Autor]



Figura 5.11 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Museu Barros Basto (antiga escola) [Foto do Autor]



Figura 5.12 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Átrio para visualização de filmes [Foto do Autor]

Na zona de culto o pavimento é em madeira, existindo passadeiras vermelhas no piso térreo (Figura 5.15). No piso dos homens as paredes são revestidas a azulejos e os pilares a mármore até a uma altura de 1,73 m do chão. Acima desta altura, tanto as paredes como os pilares são de betão rebocado e pintado. No piso das mulheres as paredes são revistadas por azulejos até cerca de 2,80 m do pavimento. O restante das paredes assim como os pilares são de betão rebocado e pintado (Figura 5.15). Nas paredes laterais existem cinco grandes janelas, que ocupam todo o pé-direito do piso das mulheres e servem também um pouco do piso dos homens (Figura 5.15). Os tectos e cúpula também são de betão rebocado e pintado. A zona da Arca da Aliança é feita em pedra e gesso, com as portas em madeira (Figura 5.16) Em cada piso existem duas portas de ligação ao átrio feitas de vidro com caixilhos de madeira e uma divisória central, maior e feita dos mesmos materiais (Figura 5.13).



Figura 5.13 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Portas de ligação do átrio ao local de culto [Foto do Autor]



Figura 5.14 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Zona de culto dos homens [Foto do Autor]





Figura 5.15 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Interior do local de culto [Foto do Autor]



Figura 5.16 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Arca da Aliança [Foto do Autor]

Todas as cadeiras, assim como a Bimá, são de madeira (Figura 5.17). No piso térreo as cadeiras estão dispostas debaixo dos balcões em três grupos de três filas (Figura 5.18) perfazendo um total de 72 lugares. Existem ainda junto aos cantos da sala um total de catorze lugares. Nos balcões as cadeiras estão dispostas em três filas nas laterais (Figura 5.19) e duas no balcão virado para a Arca da Aliança. Nas laterais, a primeira fila tem treze lugares, a segunda quinze e a última dezassete, enquanto que no balcão central a primeira fila tem onze lugares e a segunda nove, fazendo com que exista um total de 110 lugares sentados no piso das mulheres. As segundas e terceiras filas encontram-se elevadas em relação ao pavimento cerca de 0,48 m e 0,78 m, respectivamente.



Figura 5.17 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Interior do local de culto (vista superior) [Foto do Autor]



Na Sinagoga Mekor Haim não existe qualquer tipo de equipamento de condicionamento higratérmico (AVAC) nem de reforço electroacústico.



Figura 5.18 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Disposição das cadeiras no piso dos homens [Foto do Autor]



Figura 5.19 – Sinagoga Mekor Haim (Porto): Disposição das cadeiras nos balcões [Foto do Autor]

### 5.3. CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA

#### 5.3.1. DESCRIÇÃO

A caracterização acústica realizada nesta sinagoga tem por base dois tipos de análises, a objectiva e a subjectiva.

A análise objectiva é apoiada em ensaios acústicos realizados no interior da Sinagoga e a breve análise subjectiva no depoimento de Jorge Neves, Vice-Presidente da Comunidade Israelita do Porto.

Para a análise objectiva foram medidos e analisados três parâmetros: o tempo de reverberação, os níveis de pressão sonora do ruído de fundo e o RASTI. Esta análise permitiu que se realizasse uma caracterização do local relativamente à inteligibilidade da palavra e também da audibilidade sonora.

Relativamente às medições do nível sonoro do ruído de fundo, foi apenas analisado o ruído gerado pelo tráfego rodoviário na rua adjacente à sinagoga, uma vez que esta não possui qualquer tipo de sistema AVAC.

Pretendeu-se caracterizar a sala de culto e também analisar as diferenças a nível de inteligibilidade da palavra entre a zona dos homens e a zona das mulheres.

Todas as medições foram realizadas com as portas de acesso ao exterior da sala de culto e ligação à rua, fechadas. A Arca da Aliança também se encontrava fechada durante as medições.

Os ensaios foram realizados pelo Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto através do Eng. António Eduardo Costa.

### 5.3.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

#### 5.3.2.1. Metodologia

Na medição do tempo de reverberação foi emitido um ruído, aproximadamente rosa, capaz de varrer todo o espectro de frequências com interesse em analisar e com energia suficiente para ser possível registar o decaimento acima do ruído de fundo. A fonte emissora utilizada foi o modelo 4224 da marca *Briuel & Kjaer* (Figura 5.20), enquanto que o receptor foi o sonómetro modelo 2260 da marca *Briuel & Kjaer* (Figura 5.21). Este sonómetro regista o nível de pressão sonora e o tempo de decaimento correspondente a 20 ou 30 dB, fornecendo, no entanto, o tempo já extrapolado para um decaimento de 60 dB (na análise de resultados, utilizaram-se os valores extrapolados relativos ao decaimento de 30 dB).



Figura 5.20 – Fonte emissora da marca *Briuel & Kjaer*, modelo 4224 [Foto do Autor]

O tempo de reverberação foi medido num total de onze pontos, sendo oito medidos no piso térreo da sala de culto e os restantes medidos nos balcões onde se costumam sentar as mulheres (sempre com a presença física de duas pessoas). A escolha dos pontos para realização das medições teve em conta a simetria da sala. Nas Figuras 5.22 e 5.23 é possível verificar a disposição dos diversos pontos onde foram efectuadas as medições, assim como a localização da fonte sonora.

Em cada ponto foram realizadas duas medições, rodando o microfone do sonómetro 30 a 40° para esquerda e posteriormente para a direita em relação às diagonais do espaço. Apesar de serem realizadas duas medições, o valor fornecido pelo sonómetro em cada ponto é apenas um, uma vez que o equipamento efectua a média dos dois valores medidos.

Com este procedimento foram registados os valores para os tempos de reverberação nos diversos pontos por bandas de frequência (1/1 oitava) entre os 125 Hz e os 4.000 Hz.



Figura 5.21 – Sonómetro da marca *Brüel & Kjær*, modelo 2260 [Foto do Autor]

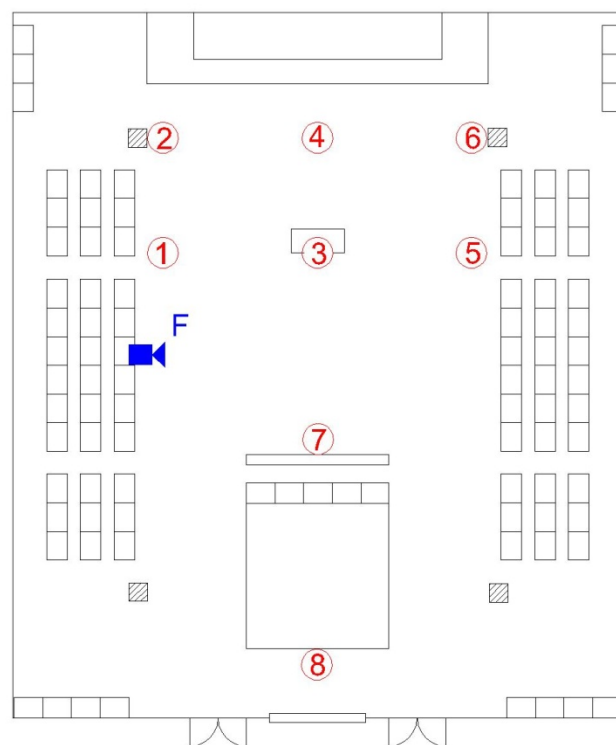


Figura 5.22 – Localização da fonte emissora (F) e dos oito pontos de medição do tempo de reverberação no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

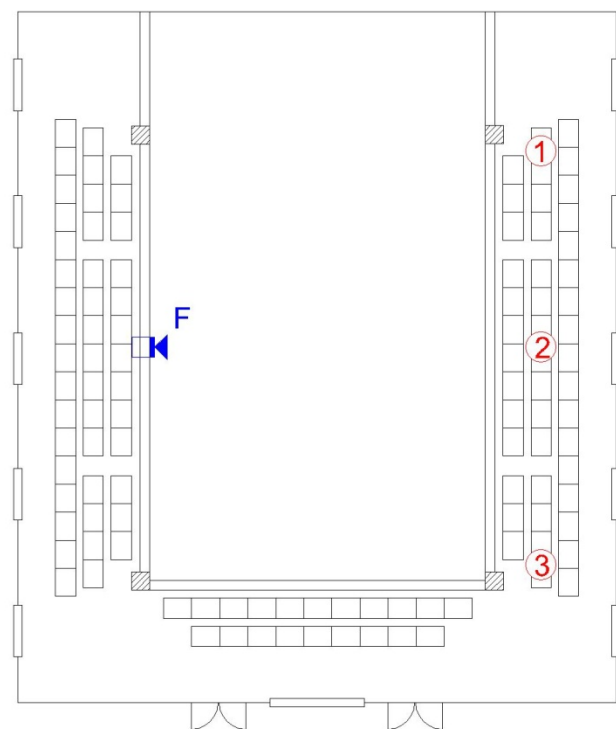


Figura 5.23 – Localização da fonte emissora (F) no piso térreo e dos três pontos de medição do tempo de reverberação no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

## 5.3.2.2. Resultados

Os valores dos tempos de reverberação obtidos no piso térreo e nos balcões são apresentados nos Quadros 5.1 e 5.2, respectivamente.

Os tempos de reverberação médios para as frequências médias (500 Hz – 1.000 Hz) em ambos os pisos são idênticos e extremamente elevados quando comparados com os valores recomendados de aproximadamente 1,0 a 1,5 s para salas em que a inteligibilidade da palavra é importante. Os valores médios dos tempos de reverberação obtidos foram de 4,6 s no piso térreo e nos balcões.

Analisando os Quadros 5.1 e 5.2 é possível constatar também que os valores do tempo de reverberação mais baixos são observados nas muito altas frequências, sendo, ainda assim, bastante elevados. Esta diferença pode ser explicada pelo grande volume da sala, pois as altas frequências tendem a ser muito absorvidas pelo ar, o que faz com que os tempos de reverberação diminuam bastante nas altas frequências.

Quadro 5.1 – Valores do Tempo de Reverberação medidos no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

TR [s]	Banda de Frequência [Hz]					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Ponto 1	3,75	4,16	4,55	4,54	3,67	2,79
Ponto 2	3,40	4,25	4,46	4,59	3,65	2,84
Ponto 3	3,27	4,45	4,76	4,51	3,79	2,73
Ponto 4	3,39	4,55	4,62	4,59	3,72	2,79
Ponto 5	3,54	4,17	4,65	4,50	3,71	2,84
Ponto 6	3,34	4,52	4,67	4,60	3,61	2,87
Ponto 7	3,26	4,44	4,50	4,62	3,67	2,82
Ponto 8	3,16	4,46	4,57	4,43	3,66	2,82
TR <sub>médio</sub>	3,39	4,38	4,60	4,55	3,69	2,81
Desvio-padrão	0,18	0,16	0,10	0,06	0,05	0,04

Quadro 5.2 – Valores do Tempo de Reverberação medidos no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

TR [s]	Banda de Frequência [Hz]					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Ponto 1	3,35	4,41	4,56	4,57	3,74	2,87
Ponto 2	3,35	4,32	4,63	4,53	3,73	2,81
Ponto 3	3,21	4,16	4,51	4,51	3,77	2,90
TR <sub>médio</sub>	3,30	4,30	4,57	4,54	3,75	2,86
Desvio-padrão	0,08	0,13	0,06	0,03	0,02	0,05



Através da análise dos desvios-padrão dos Quadros 5.1 e 5.2 ou dos resultados nas Figuras 5.24 a 5.26 é possível constatar que existe uma grande uniformização de tempos de reverberação medidos nos diversos pontos da sinagoga. No piso dos homens verifica-se uma dispersão maior nas duas frequências mais baixas, sendo que nas restantes a variação é de certo modo irrelevante. No piso das mulheres a variação de valores por banda de frequência é extremamente baixa, apresentando apenas um valor mais elevado na frequência dos 250 Hz, mas mesmo assim, não é um valor muito alto.

A existência de valores de tempo de reverberação tão elevados é facilmente explicada pelo facto de todos os materiais que cobrem as superfícies interiores serem bastante reflectores. Além disso, o tempo de reverberação também é agravado pelo grande pé-direito e consequente volume elevado.

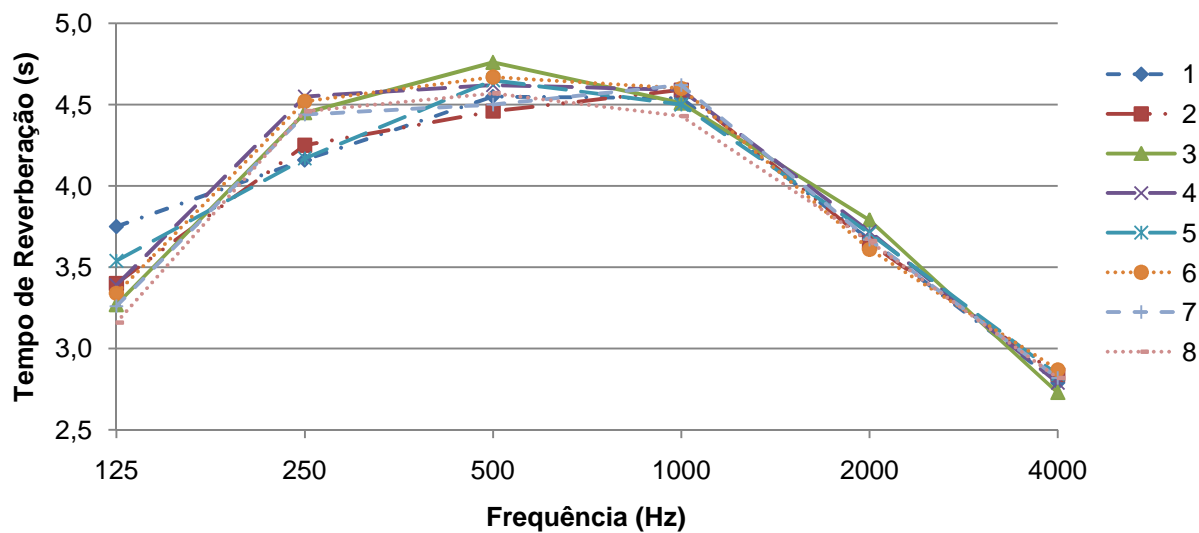


Figura 5.24 – Valores do Tempo de Reverberação obtidos nas oito posições no piso destinado aos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

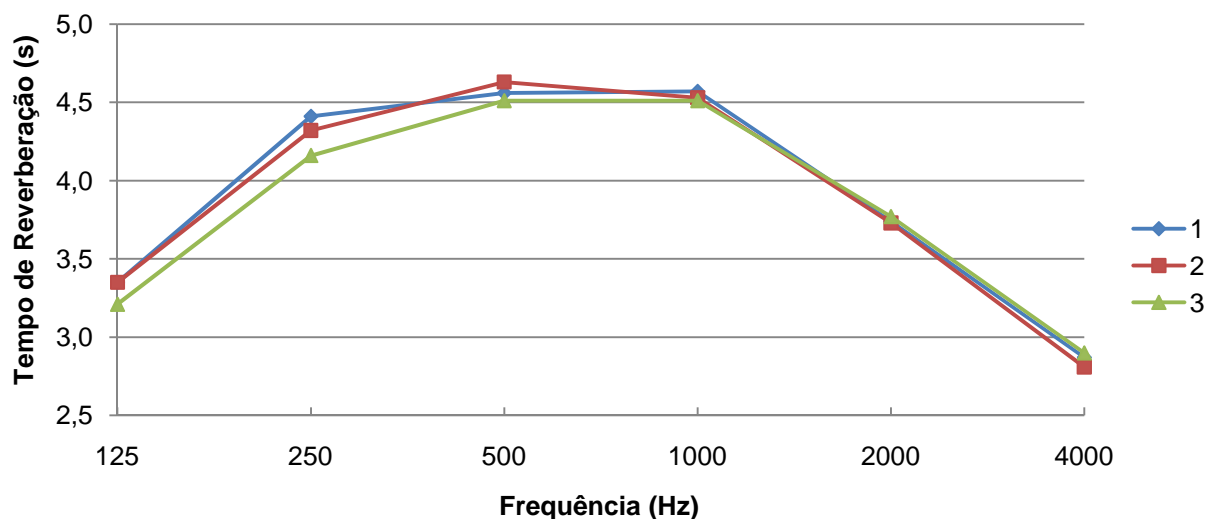


Figura 5.25 – Valores do Tempo de Reverberação obtidos nas três posições no piso destinado às mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

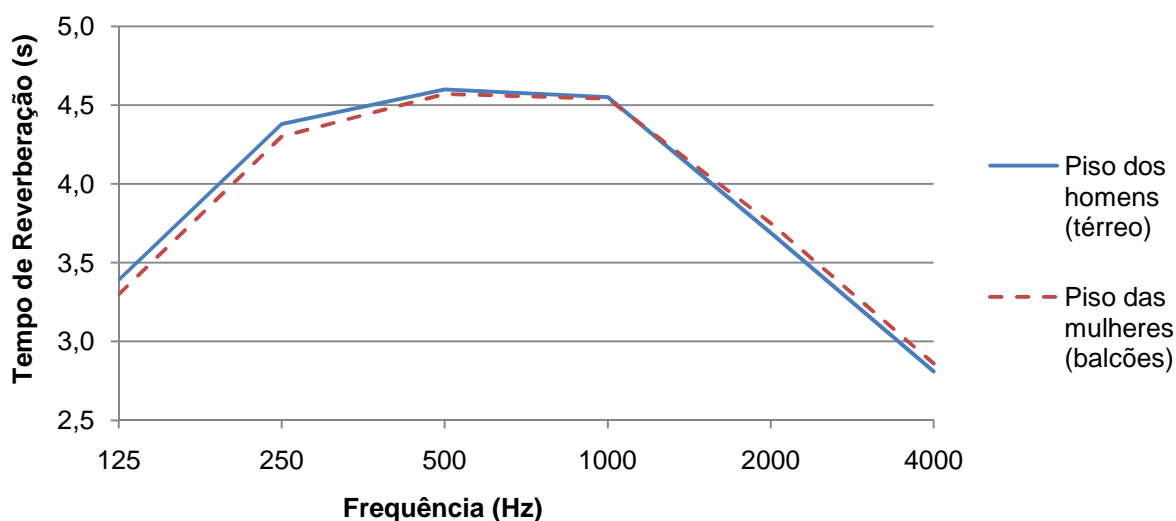


Figura 5.26 – Valores médios do Tempo de Reverberação nos pisos destinados aos homens e às mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

### 5.3.2.3. Comparação com valores ideais recomendados

Após a realização das medições *in situ* é possível comparar os valores obtidos com valores de tempos de reverberação recomendados por vários autores para este tipo de salas.

Na Figura 5.27 é apresentado um intervalo de valores de tempos de reverberação aconselhados para sinagogas em função do seu volume. [74] Deste modo, o tempo de reverberação da Sinagoga Mekor Haim, tendo em conta o seu volume, deveria estar compreendido entre 1,3 e 1,7 s.

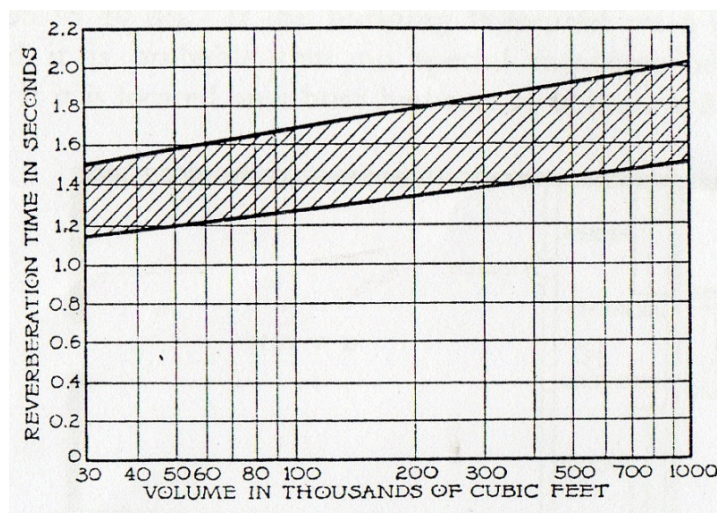


Figura 5.27 – Tempo de Reverberação ideal em função do volume. Os valores ideais para as Sinagogas situam-se na zona a sombreado [74]

Através da análise da Figura 5.28 ou da Equação 5.1 [75] o tempo de reverberação óptimo que deveria existir na frequência de 500 Hz na Sinagoga é de 1,37 s. É importante referir que este valor é obtido

considerando a sala com uma ocupação de dois terços. A Equação 5.1 é válida para o volume  $V$  em pés cúbicos. É necessário portanto proceder-se à conversão de metros cúbicos para pés cúbico para se determinar o tempo de reverberação aconselhado.

$$TR(s) = 0,35 \cdot \log(V) - 0,35 \quad , \text{com } V \text{ em pés}^3 \quad (5.1)$$

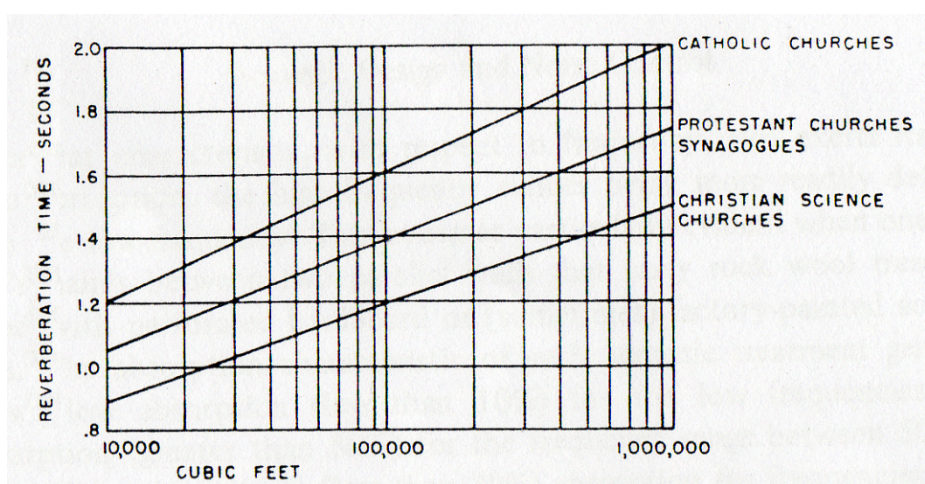


Figura 5.28 – Tempo de Reverberação ideal em função do volume, para a frequência dos 500 Hz para diferentes tipos de salas, considerando uma ocupação de dois terços [75]

A Sinagoga Mekor Haim possui, para uma taxa de ocupação de dois terços e para a frequência de 500 Hz, um valor médio do tempo de reverberação estimado de 2,9 s.

No Quadro 5.3 é possível verificar que, qualquer que seja o autor, os valores médios ideais andam muito próximos uns dos outros, e bastante distantes dos medidos/previstos na Sinagoga Mekor Haim, sendo estes últimos muito superiores aos recomendados.

Quadro 5.3 – Comparação dos valores médios do Tempo de Reverberação ideais com os valores medidos e previstos na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Situação	TR [s]	TR ideais [s]
Sala vazia (medição)	4,6	1,3 – 1,7 [74]
Ocupação de 2/3 (previsão)	2,9	1,4 [75]



### 5.3.3. RASTI

#### 5.3.3.1. Metodologia

O RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*) foi realizado com a emissão de um sinal contínuo modelado em duas bandas de oitava, de 500 Hz e 2.000 Hz, com as mesmas flutuações de intensidade sonora da voz humana. Utilizou-se como fonte sonora o modelo 4225 da marca *Brüel & Kjær* (Figura 5.29) e como receptor, o modelo 4419 da mesma marca (Figura 5.30). O receptor possui um microfone omnidireccional que se encontra a cerca de 28 cm do receptor propriamente dito. Durante as medições, este microfone foi posicionado a cerca de 1,25 m do piso, simulando a posição sentada das pessoas quando estão no serviço religioso. O aparelho receptor regista as diferenças entre o som emitido pela fonte emissora e o recebido pelo microfone, calculando posteriormente o RASTI, fornecendo um valor numérico entre 0 e 1, por forma a avaliar o nível de degradação do sinal entre a fonte sonora e os diversos pontos medidos. Com os resultados obtidos é possível avaliar o nível de inteligibilidade da palavra nos diversos locais da sinagoga.

A fonte sonora foi colocada em cima da Bimá, no local onde a Tora é lida para todas as pessoas presentes (Figura 5.31 e 5.32). Foram feitas medições num total de doze pontos, sendo nove no piso térreo da sala de culto e os restantes nos balcões onde se costumam sentar as mulheres (Figura 5.33 e 5.34). Em cada ponto foram efectuadas três leituras, sendo o valor final calculado posteriormente através da média aritmética dos valores medidos.



Figura 5.29 – Fonte emissora RASTI da marca *Brüel & Kjær*, modelo 4425 [Foto do Autor]



Figura 5.30 – Receptor RASTI da marca *Brüel & Kjær*, modelo 4419 [Foto do Autor]



Figura 5.31 – Localização da fonte emissora de RASTI (cf. Fig. 5.33) [Foto do Autor]



Figura 5.32 – Localização da fonte emissora de RASTI (cf. Fig. 5.33) [Foto do Autor]

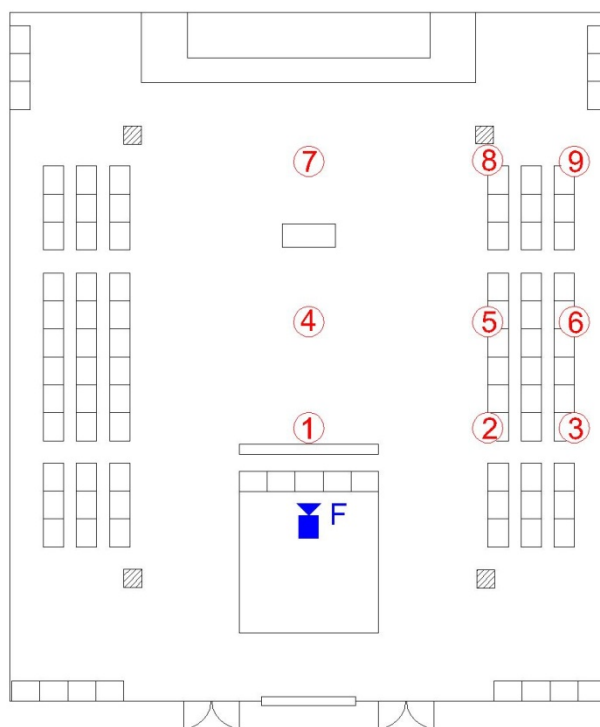


Figura 5.33 – Localização da fonte emissora (F) e dos nove pontos de medição do RASTI no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

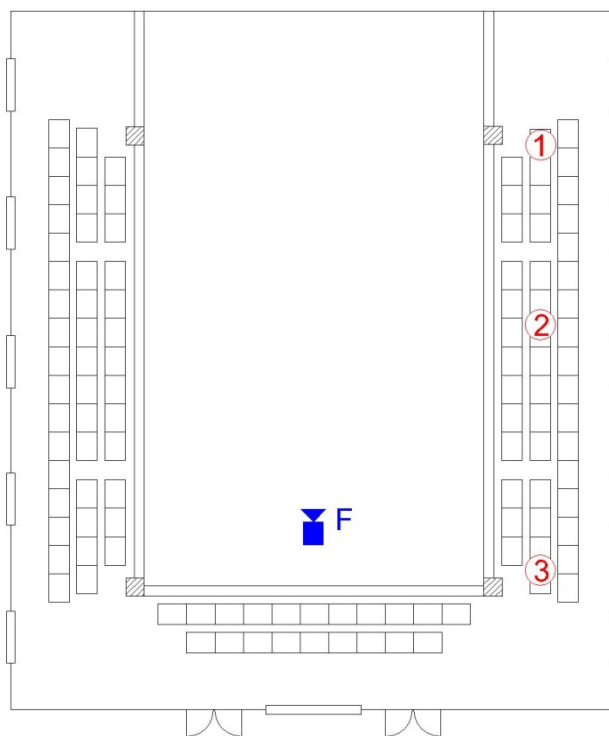


Figura 5.34 – Localização da fonte emissora (F) no piso térreo e dos três pontos de medição do RASTI no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

## 5.3.3.2. Resultados

Os resultados dos valores de RASTI medidos no local de culto da Sinagoga Mekor Haim são apresentados nos Quadros 5.4 e 5.5.

O piso térreo, zona de leitura da Tora e onde se sentam os homens, apresenta um RASTI médio de 0,37, que significa um nível de inteligibilidade da palavra *pobre* (ver Quadro 2.7). Nos balcões, local onde se sentam as mulheres, o valor médio do RASTI é de 0,31, significando uma qualidade da inteligibilidade da palavra *pobre*, já muito próxima da *má*.

Quadro 5.4 – Valores de RASTI medidos no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Posição	RASTI					
	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Média (Posição)	Média (Zona)	Média (Sala)
1	0,51	0,49	0,52	0,51	0,41	0,37
2	0,39	0,39	0,38	0,39		
3	0,34	0,35	0,34	0,34		
4	0,45	0,45	0,44	0,45	0,37	
5	0,33	0,34	0,33	0,33		
6	0,31	0,32	0,32	0,32		
7	0,39	0,38	0,39	0,39	0,35	
8	0,31	0,32	0,32	0,32		
9	0,33	0,34	0,33	0,33		

Quadro 5.5 – Valores de RASTI medidos no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Posição	RASTI				
	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Média (Posição)	Média (Zona)
1	0,30	0,29	0,29	0,29	0,31
2	0,33	0,34	0,33	0,33	
3	0,30	0,32	0,31	0,31	

Verifica-se ainda que os pontos com melhor previsível inteligibilidade da palavra são aqueles que se situam no centro da sinagoga e no alinhamento da fonte (Figuras 5.35 e 5.36), e que à medida que se vai afastando do centro o valor vai diminuindo. Existe contudo uma exceção, que é o do valor do RASTI da posição 9 que é superior ao da posição 8, e isto deve-se principalmente ao facto deste ponto se encontrar próximo de um canto e existirem reflexões que melhoram ligeiramente o valor.

Relativamente aos balcões é possível constatar, que apesar da média ser muito fraca, o local onde se tem uma inteligibilidade superior à média é na posição 2, ou seja, numa posição central no balcão.

Verifica-se ainda que este ponto consegue ter um valor médio igual ou superior a alguns dos pontos do piso inferior (Figura 5.36).

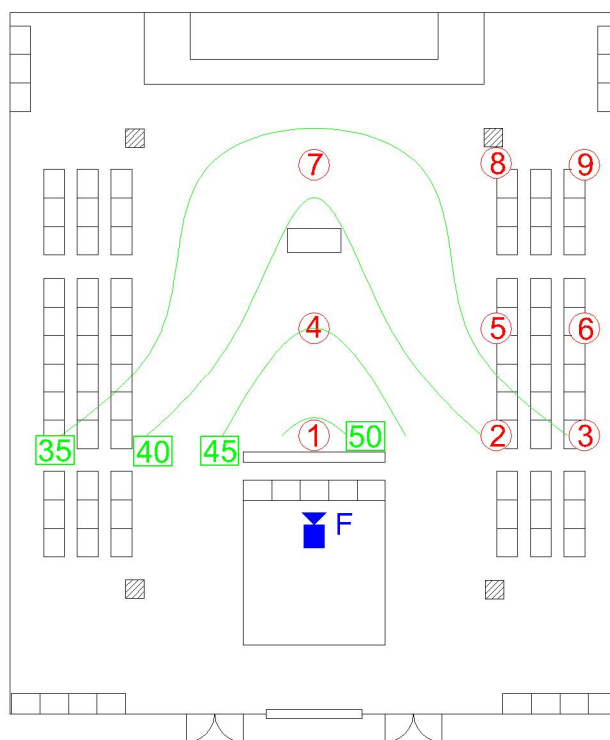


Figura 5.35 – Linhas de igual RASTI no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

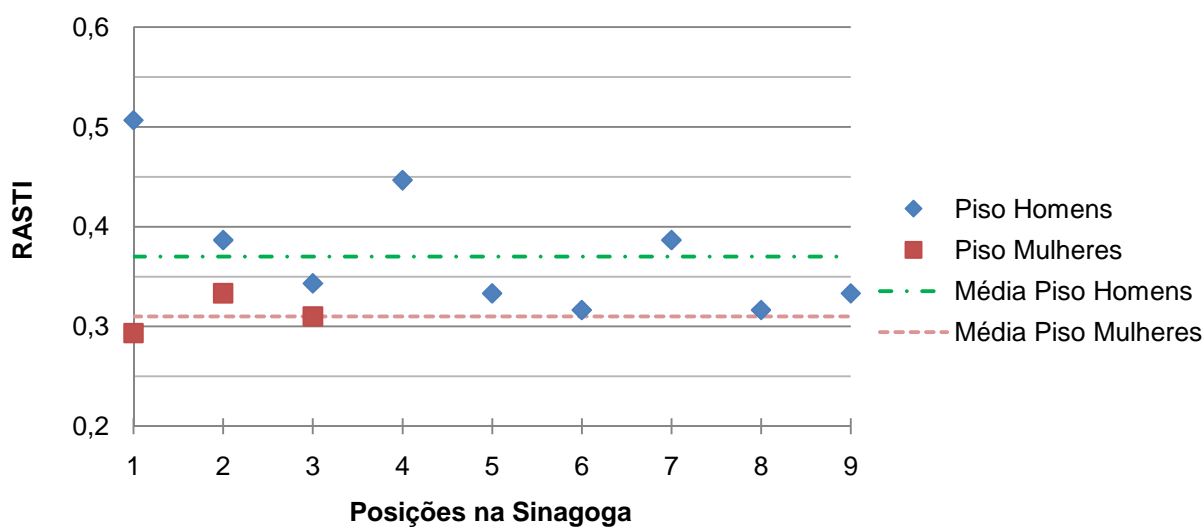


Figura 5.36 – Valores de RASTI obtidos em várias posições nos pisos destinado aos homens e às mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Analisando por zonas (Figura 5.37), é possível verificar que a zona que abrange as posições 1, 2 e 3 possui um valor médio de RASTI superior à média total do piso (Figura 5.38). A zona das posições 4, 5 e 6 apresenta um valor médio igual à média total, e por último, a zona dos pontos 7, 8 e 9 um valor

médio inferior. Na primeira zona pode-se considerar que a inteligibilidade da palavra é *pobre* mas mais próxima do *aceitável*, enquanto que nas outras zonas é *pobre*. A análise por zonas referente ao piso das mulheres é igual à análise por posições.

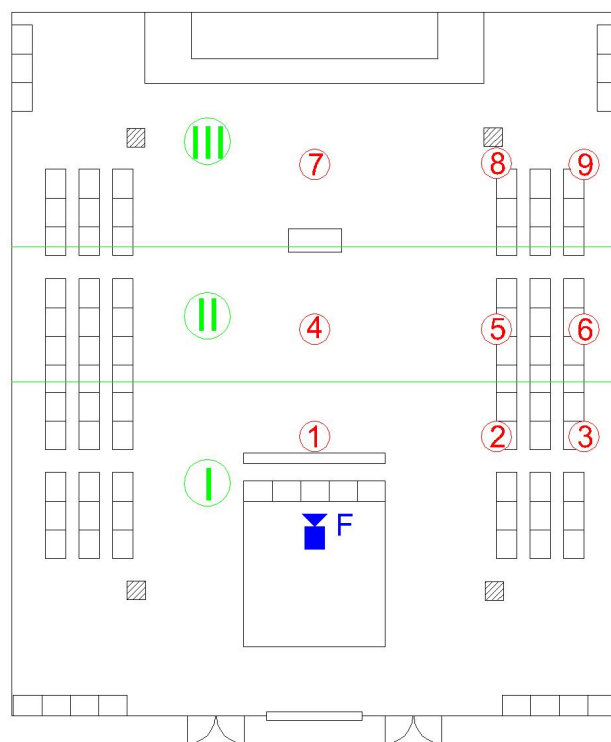


Figura 5.37 – Separação por zonas (I, II e III) dos pontos de medição do RASTI no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

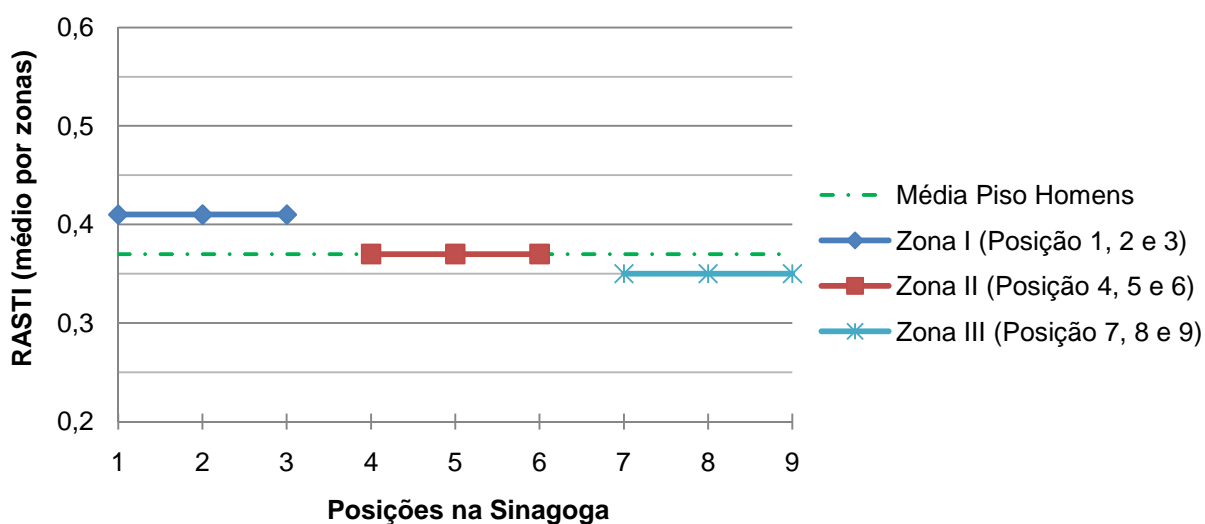


Figura 5.38 – Valores médios de RASTI por zonas no piso destinado aos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)



### 5.3.4. NÍVEL SONORO

#### 5.3.4.1. Metodologia

A medição dos níveis sonoros do ruído de fundo foi realizada com o sonómetro modelo 2260 da marca *Brüel & Kjær* (Figura 5.39). Por forma obter a estacionariedade do sinal rastreado (o ruído de fundo proveniente do tráfego rodoviário da rua adjacente), a medição em cada ponto teve uma duração de 5 minutos. Foram feitas medições num total de cinco pontos, sendo três no piso térreo da sala de culto e os restantes nos balcões onde se costumam sentar as mulheres (Figuras 5.40 e 5.41). Os valores obtidos foram para as frequências de 63 Hz a 8.000 Hz.



Figura 5.39 – Medições dos níveis sonoros do ruído de fundo com sonómetro da marca *Brüel & Kjær*, modelo 2260 [Foto do Autor]

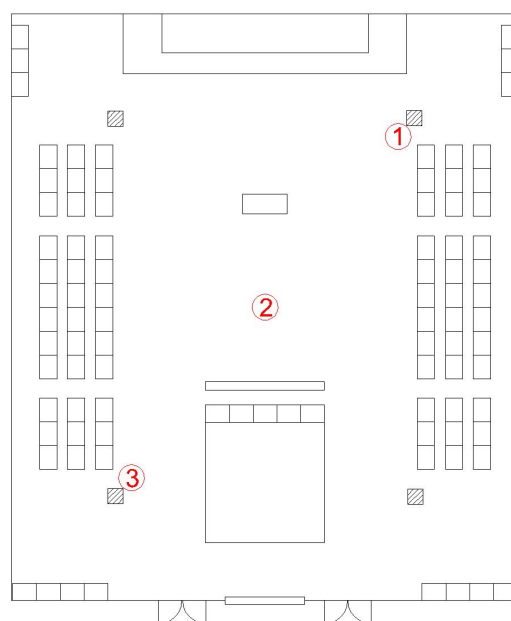


Figura 5.40 – Localização dos três pontos de medição dos níveis sonoros do ruído de fundo no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

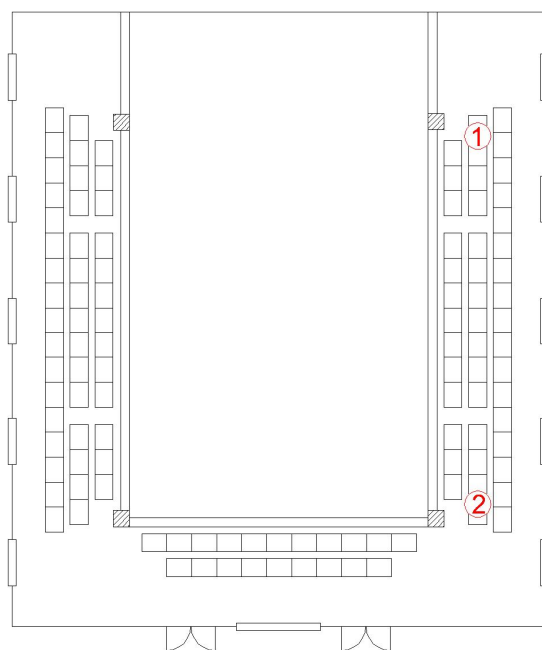


Figura 5.41 – Localização dos dois pontos de medição dos níveis sonoros do ruído de fundo no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

#### 5.3.4.2. Resultados

Nos Quadros 5.6 e 5.7 são apresentados os valores dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo obtidos por banda de frequência de oitava nos diversos pontos.

Apesar de não haver nenhuma separação física da zona de culto dos homens e das mulheres, encontrando-se ambas as zonas na mesma sala diferenciando apenas da cota, verificam-se diferenças nos valores dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo nos pontos medidos no piso térreo e nos balcões (Quadro 5.8 e Figura 5.42). Esta diferença deve-se principalmente às cinco janelas que existem nas duas fachadas laterais da sinagoga e que ocupam todo o pé-direito da zona das mulheres e que formam pontos fracos a nível de isolamento sonoro do exterior para o interior.

O nível de pressão sonora global de toda a sala de culto é de 57 dB, sendo que no piso dos homens o nível de pressão sonora médio do ruído de fundo é de 54 dB e no das mulheres de 59 dB.

Quadro 5.6 – Níveis de pressão sonora (ruído de fundo – tráfego) medidos no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Parâmetro [dB]	Banda de Frequência [Hz]								TOTAL
	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
L <sub>1</sub>	45,5	38,6	34,4	34,8	33,0	26,5	18,3	12,9	52,8
L <sub>2</sub>	45,0	38,1	33,9	34,3	32,5	26,0	17,8	12,5	52,3
L <sub>3</sub>	46,9	38,4	33,8	33,8	31,6	25,2	18,2	14,3	56,4
L <sub>médio</sub>	45,9	38,4	34,0	34,3	32,4	25,9	18,1	13,3	54,2



Quadro 5.7 – Níveis de pressão sonora (ruído de fundo – tráfego) medidos no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Parâmetro [dB]	Banda de Frequência [Hz]								TOTAL
	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
L <sub>1</sub>	48,0	38,9	35,1	35,4	33,1	26,4	19,3	14,9	59,1
L <sub>2</sub>	47,7	38,6	34,8	35,1	32,8	26,1	19,0	14,6	58,8
L <sub>médio</sub>	47,9	38,8	35,0	35,3	33,0	26,3	19,2	14,8	59,0

Quadro 5.8 – Níveis de pressão sonora (ruído de fundo – tráfego) médios do piso de culto dos homens e das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Parâmetro [dB]	Banda de Frequência [Hz]								Total
	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
L <sub>Homens</sub>	45,9	38,4	34,0	34,3	32,4	25,9	18,1	13,3	54
L <sub>Mulheres</sub>	47,9	38,8	35,0	35,3	33,0	26,3	19,2	14,8	59
L <sub>global</sub>	47	39	35	35	33	26	19	14	57

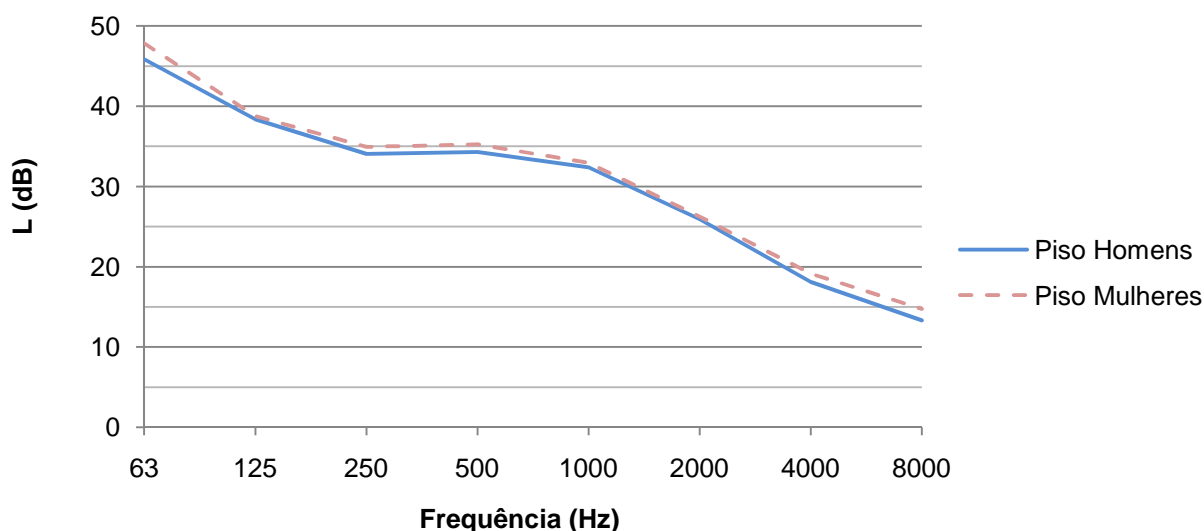


Figura 5.42 – Níveis de pressão sonora (ruído de fundo – tráfego) médios do piso de culto dos homens e das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

No Quadro 5.9 e Figura 5.43 é possível ver os valores dos níveis de pressão sonora do ruído de fundo após aplicação do filtro A. Verifica-se que após aplicação deste filtro, o nível sonoro global da sala é de cerca de 37 dB(A), sendo que no piso dos homens o nível sonoro médio do ruído de fundo é de 36 dB(A) e no das mulheres de 37 dB(A).

Quadro 5.9 – Níveis sonoros médios com aplicação do filtro A (ruído de fundo – tráfego) do piso de culto dos homens e das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Parâmetro [dB(A)]	Banda de Frequência [Hz]								Total
	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
L <sub>Homens</sub>	19,9	22,9	25,5	31,3	32,4	26,9	19,1	12,3	36
L <sub>Mulheres</sub>	21,9	23,3	26,5	32,3	33,0	27,3	20,2	13,8	37
L <sub>global</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	37

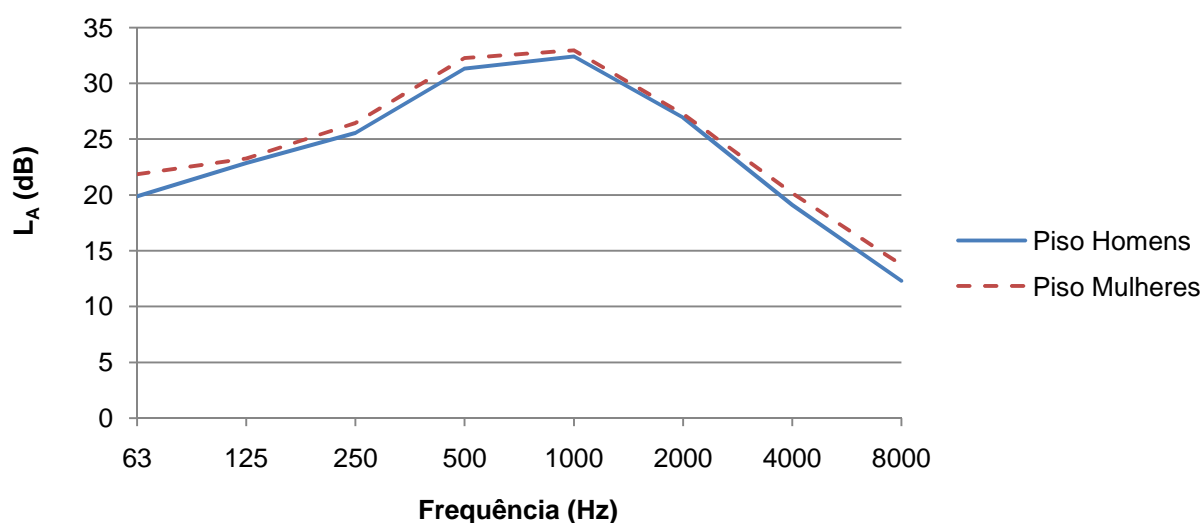


Figura 5.43 – Níveis sonoros médios com aplicação do filtro A (ruído de fundo – tráfego) do piso de culto dos homens e das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

#### 5.3.4.3. Curvas de Incomodidade

Por forma a avaliar o nível de incomodidade provocado pelo ruído de fundo no local de culto recorreu-se ao método *Noise Criteria* (NC) e também ao *Noise Rating* (NR). São métodos idênticos que diferenciam principalmente no facto do método do *Noise Rating* analisar mais uma banda de frequência que o *Noise Criteria* (31 Hz), mas também por este último ser mais utilizado nos Estados Unidos da América, enquanto que o *Noise Rating* é mais utilizado na Europa, sendo inclusive uma norma ISO 1996-1:2003 [76]. Apesar destes métodos serem utilizados para analisar o ruído de fundo proveniente de equipamentos mecânicos ou AVAC, algo que não existe na Sinagoga Mekor Haim, esta análise é realizada para que seja possível avaliar se o ruído de fundo medido e estabilizado ao fim de 5 minutos se encontra abaixo do limite aconselhado para salas em que a inteligibilidade da palavra é importante.

Recorrendo aos valores do Quadro 5.8 e às curvas do método *Noise Criteria*, verifica-se que o nível de pressão sonora do ruído de fundo (devido ao tráfego rodoviário) na zona de culto dos homens corresponde a um NC-31 (Figura 5.44), e na zona de culto das mulheres a um NC-32 (Figura 5.45)

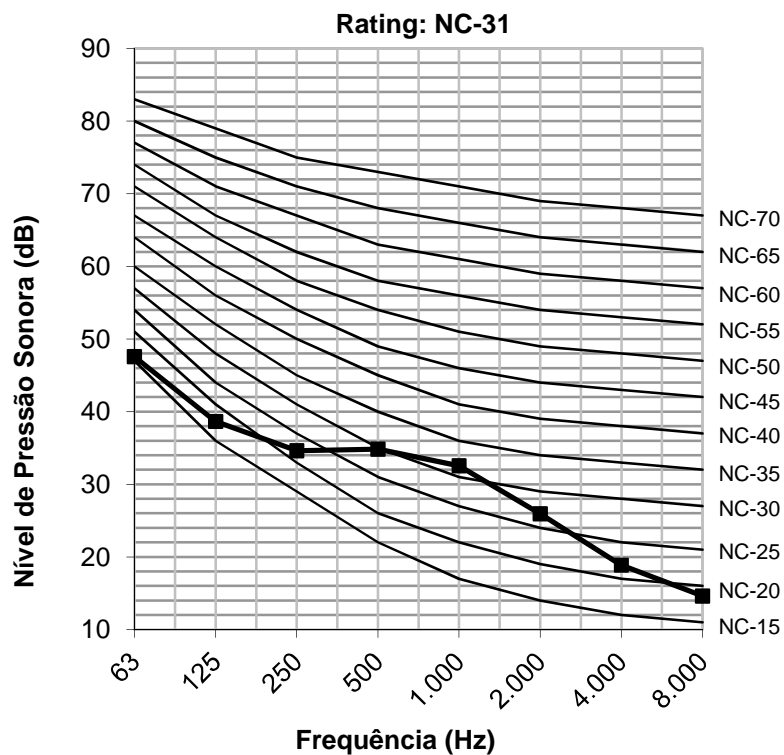


Figura 5.44 – Método *Noise Criteria* aplicado ao ruído de fundo (tráfego) no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

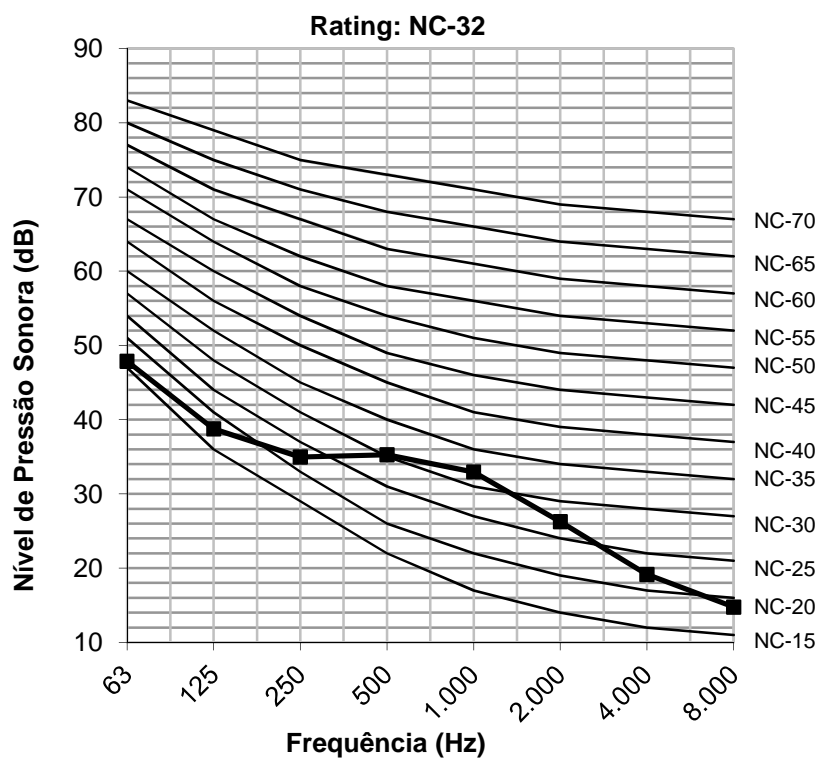


Figura 5.45 – Método *Noise Criteria* aplicado ao ruído de fundo (tráfego) no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Verifica-se que ambos os valores são um pouco superiores aos limites superiores aconselhados para este tipo de salas (NC-30) [77] e estes valores devem-se ao ruído do tráfego rodoviário, visto não existirem equipamentos de AVAC. As grandes janelas laterais da sinagoga são os pontos fracos do ponto de vista de isolamento sonoro, e daí se compreender os valores obtidos e a diferença de valores entre o piso das mulheres, que tem uma maior área de envidraçado, e o piso dos homens.

Recorrendo aos valores do Quadro 5.8 e às curvas do método *Noise Rating*, verifica-se que o nível de pressão sonora do ruído de fundo na zona de culto dos homens corresponde a um NR-32 (Figura 5.46), e na zona de culto das mulheres a um NR-33 (Figura 5.47). Valores um pouco superiores aos limites máximos aconselhados para este tipo de salas (NR-30). [78]

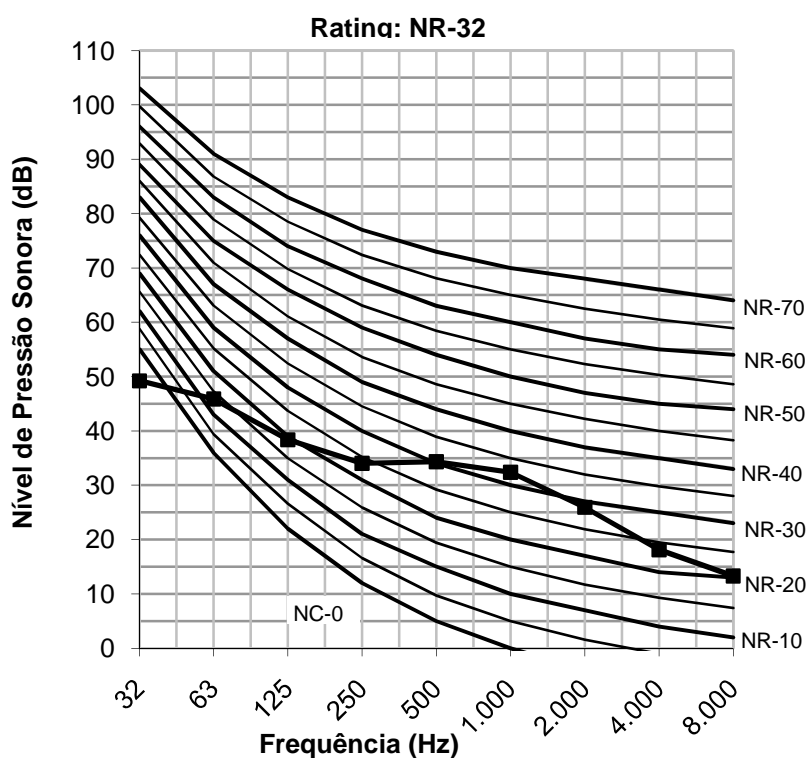


Figura 5.46 – Método *Noise Rating* aplicado ao ruído de fundo (tráfego) no piso de culto dos homens na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

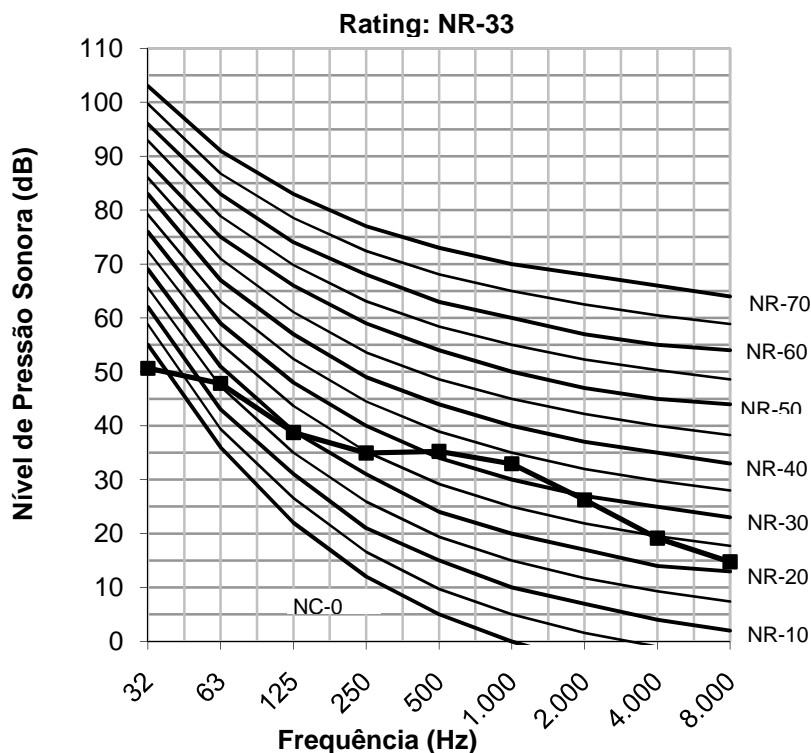


Figura 5.47 – Método *Noise Rating* aplicado ao ruído de fundo (tráfego) no piso de culto das mulheres na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

No Quadro 5.10 é possível ser analisado um breve resumo dos valores obtidos na Sinagoga Mekor Haim (Porto) pelos dois métodos apresentados, assim como os valores ideais para este tipo de salas, consoante o método escolhido.

Quadro 5.10 – Comparação dos valores médios do Tempo de Reverberação ideais com os valores medidos e previstos na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Parâmetro	Sinagoga Mekor Haim (Porto)	Ideal
<i>Noise Criteria</i>	31 – 32	≤ 30 [77]
<i>Noise Rating</i>	32 – 33	≤ 30 [78]

### 5.3.5. ANÁLISE SUBJECTIVA

Na realização da breve análise subjectiva do espaço de culto da sinagoga pediu-se a Jorge Neves, vice-presidente da Comunidade Israelita do Porto, com base na sua opinião e na dos frequentadores da sinagoga, que transmitisse alguns pareceres relativamente ao comportamento acústico do espaço. Deste modo foram referenciadas as seguintes situações:

- O ruído de fundo do tráfego rodoviário não é incomodativo. A principal altura em que se realizam as orações é no Sábado de manhã, pelo que não há muito movimento de carros, e mesmo quando estes passam, não produzem ruído suficiente que incomode o tempo de oração;
- Durante a leitura da Tora não há queixas relativas a dificuldades na percepção do que está a ser lido;

- As mulheres queixam-se de que não conseguem perceber o comentário realizado após a leitura da Tora, que é realizado a maior parte das vezes por alguém nas cadeiras que se encontram debaixo dos balcões onde elas se encontram sentadas;
- O comentário realizado após a leitura da Tora é bem perceptível a todos os homens;
- As mulheres tendem a situar-se na zona central dos balcões;
- No piso dos homens, quando os dois lados estão cheios, se se falar para um dos lados em particular, o outro não consegue perceber o que está a ser dito.

Para realização de uma análise subjectiva mais detalhada seria importante obter opiniões de mais alguns frequentadores da Sinagoga Mekor Haim, inclusive através da realização de alguns inquéritos, algo que não se compatibiliza com o limite temporal para realização do presente trabalho.

#### 5.3.6. COMENTÁRIO FINAL

Neste subcapítulo pretende-se comentar os resultados obtidos e confrontar a breve análise acústica subjectiva com a análise objectiva.

Nas medições do tempo de reverberação obtiveram-se valores muito altos para a tipologia de sala e o seu uso, que requer tempos de reverberação baixos pois a inteligibilidade da palavra é muito importante. Os tempos obtidos para as frequências médias (500 Hz – 1.000 Hz) foram de 4,6 s no piso dos homens e das mulheres. O grande volume da sala assim como os materiais muito reflectores existentes em todos os elementos construtivos são os principais motivos para estes valores tão elevados. Apesar de em todas as frequências serem apresentados valores elevados, é nas frequências médias que se verificam os valores mais altos. Será importante referir que estas medições foram realizadas com a sala vazia, pelo que com a presença das pessoas que costumam frequentar a sinagoga é normal os valores do tempo de reverberação baixarem um pouco, na medida que as pessoas ajudam a absorver o som e consequentemente, a reduzir o tempo de reverberação. Este tempo de reverberação tão elevado faz com que exista um mascarar do som e consequentemente exista uma má percepção da palavra.

Relacionado de certa forma com as consequências do elevado valor do tempo de reverberação está também os valores obtidos para o RASTI. O valor de RASTI médio obtido para o piso dos homens foi de 0,37 (inteligibilidade *pobre*) e 0,31 para o piso das mulheres (inteligibilidade *pobre* já próxima do *má*). No piso dos homens verifica-se que é na zona próxima da Bimá que os resultados são melhores (0,41) e que à medida que se vai afastando desta os resultados tendem a piorar (0,37 e 0,35). E também, em cada zona, quanto mais próximo se estiver do centro da sala (primeira fila de cadeiras) melhor é a percepção. Já no piso das mulheres, os valores obtidos foram muito baixos, sendo no entanto o valor mais alto das três medições realizadas na zona central dos balcões, e daí se perceber o porquê das mulheres terem tendência a procurar esta zona para tentarem perceber melhor o que está a ser dito.

Relativamente aos níveis de ruído obtidos devido ao ruído de fundo (tráfego), os valores foram de 54 dB para o piso dos homens e de 59 dB para o piso das mulheres. Sendo a sala comum, considera-se que o nível de pressão sonora global é de 57 dB, e que o nível sonoro é de 37 dB(A). Com os valores obtidos e utilizando o método *Noise Criteria*, chegou-se a um NC-31 no piso dos homens e um NC-32 no das mulheres. Não é um valor excessivo, mas já ultrapassa um pouco o limite máximo aconselhado para salas em que a inteligibilidade da palavra é importante (NC-30) [77]. O mesmo acontece com a utilização do método *Noise Rating*, tendo-se chegado a um NR-32 no piso dos homens e NR-33 no das

mulheres, ambos superiores ao máximo aconselhado de NR-30 [78]. De referir que as medições foram realizadas ao final do dia e durante a semana, numa altura que há sempre mais tráfego rodoviário que ao sábado de manhã, altura em que se costuma efectuar o principal momento de oração. Isto ajuda a perceber a opinião dos utilizadores de que o ruído de fundo, principalmente provocado pelos automóveis, não é incomodativo.

Existem ainda alguns pontos referidos na breve análise subjectiva e que terão algum interesse em ser comparados com a análise objectiva, mas neste caso analisando todos os resultados medidos em conjunto, assim também como outros factores.

Apesar dos valores de RASTI terem sido *pobres*, pode-se verificar que a nível da leitura da Tora não há queixas relativamente à percepção da palavra. Isto pode-se dever ao facto de todas as orações e leituras serem acompanhadas individualmente através de textos escritos, pelo que de certo modo, uma percepção da palavra mais fraca não é tão notada. No entanto, quando se trata de um discurso e não da leitura de algo, existem diversas queixas, como é o caso de quando se dirige para um dos lados em particular, o lado oposto não consegue perceber o que está a ser dito. Isto deve-se não só à direccionalidade do som, mas também ao grande volume e grande área de materiais reflectores, que provocam elevado tempo de reverberação e consequentemente um RASTI baixo. Outra queixa existente é referente ao comentário da Tora que não é bem percebido pelas mulheres (no piso superior). Neste caso as causas podem ser relacionadas não só com os tempos de reverberação elevados e baixos valores de RASTI, mas também pelo facto do ruído de fundo ser ligeiramente mais elevado (5 dB). Apesar do ruído ser ligeiramente mais elevado, as curvas de incomodidade encontram-se muito próximas dos limites máximos aconselhados, pelo que esta diferença de valores do ruído de fundo não seria por si só motivo para agravar a percepção da palavra. No entanto, sendo o local de culto uma sala com muito más condições de inteligibilidade da palavra, esta diferença torna-se bastante notória. Um outro ponto referente a esta queixa, e também de extrema importância, tem a ver com o facto de este comentário (discurso) ser realizado a maior parte das vezes por alguém que se encontra nas cadeiras da zona de culto dos homens, ou seja, debaixo dos balcões onde as mulheres se encontram. Nesta situação, o som que chega às mulheres provem principalmente de reflexões e não de som directo, ou seja, chega com elevado nível de degradação e daí as queixas relativas à percepção do que está a ser dito.





# 6

## COMPARAÇÃO DA SINAGOGA MEKOR HAIM COM IGREJAS E MESQUITAS DE VOLUMETRIA SEMELHANTE

### 6.1. COMPARAÇÃO COM IGREJAS CATÓLICAS COM VOLUMETRIA SEMELHANTE

#### 6.1.1. INTRODUÇÃO

O comportamento acústico desejável das Igrejas é algo complexo, uma vez que é preciso conciliar as condições acústicas mais favoráveis para a palavra e a música. Acontece que as condições acústicas favoráveis para a palavra não são as mesmas que para a música e vice-versa. Para aumentar a inteligibilidade da palavra é importante que os tempos de reverberação sejam baixos, enquanto que para a música religiosa é importante valores de tempos de reverberação mais elevados para, por exemplo, criar um maior envolvimento. [79]

Os dados das igrejas referenciadas neste subcapítulo foram obtidos das dissertações “*Influence of architectural features and styles on various acoustical measures in churches*” de A. P. Oliveira de Carvalho [17] e “Guião da Acústica de Igrejas em Portugal” de Telma Silva [79].

Das diversas igrejas estudadas pelos autores referidos, foram escolhidas para comparação as igrejas com volumes compreendidos entre os 1.314 m<sup>3</sup> e os 3.358 m<sup>3</sup>, por serem próximos dos 2.399 m<sup>3</sup> da Sinagoga Mekor Haim.

No Quadro 6.1 são identificadas as igrejas escolhidas para comparação, assim como a respectiva localização, aspectos relacionados com a geometria, valores dos tempos de reverberação médios para as frequências médias de 500 Hz e 1.000 Hz e o valor médio do RASTI.

No Quadro 6.2 são identificados os estilos arquitectónicos das diversas igrejas consideradas para comparação, assim como a época em que esses estilos se inserem.

No Quadro 6.3 são apresentados os valores óptimos considerados por alguns autores para o tempo de reverberação e RASTI para a palavra, e tempo de reverberação para a música.

Quadro 6.1 – Caracterização das Igrejas Católicas escolhidas para comparação com a Sinagoga Mekor Haim (Porto) e respectivos valores médios de TR (s) para as frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz) e RASTI [17, 79]

Igreja	Localização	Volume [m <sup>3</sup> ]	Área [m <sup>2</sup> ]	H <sub>máx</sub> [m]	Nº de lugares sentados	TR [s]	RASTI
Igreja Matriz de Armamar	Armamar	2.487	260	10,8	130	2,6	0,43
Igreja Matriz de Mértola	Mértola	1.950	297	7,2	148	4,6	0,34
Igreja da Misericórdia	Évora	3.338	250	14,7	92	2,3	0,49
Igreja de Santa Clara	Porto	2.491	222	12,9	190	1,3	0,62
Igreja de São Bento de Cástris	Évora	1.314	130	13,0	136	3,1	0,45
Igreja de São Pedro de Cête	Cête	1.515	155	11,8	136	2,3	0,44
Igreja de São Pedro de Ferreira	Paços de Ferreira	2.912	233	14,5	116	3,3	0,40
Igreja de São Pedro de Roriz	Roriz	2.198	193	13,3	198	3,0	0,48
Igreja Matriz de Viana do Alentejo	Viana do Alentejo	3.358	421	11,0	226	3,0	0,42
Sinagoga Mekor Haim	Porto	2.399	222	14,1	196	4,6	0,34

Quadro 6.2 – Identificação do estilo arquitectónico das Igrejas Católicas escolhidas para comparação com a Sinagoga Mekor Haim (Porto) [adaptado de 17 e 80]

Igreja	Estilo Arquitectónico Principal	Época
Igreja Matriz de Armamar	Românico	Séc. XII-XIII
Igreja Matriz de Mértola	Manuelino	Séc. XV-XVI
Igreja da Misericórdia	Barroco	Séc. XVII-XVIII
Igreja de Santa Clara	Gótico	Séc. XIII-XV
Igreja de São Bento de Cástris	Manuelino	Séc. XV-XVI
Igreja de São Pedro de Cête	Gótico	Séc. XIII-XV
Igreja de São Pedro de Ferreira	Românico	Séc. XII-XIII
Igreja de São Pedro de Roriz	Românico	Séc. XII-XIII
Igreja Matriz de Viana do Alentejo	Manuelino	Séc. XV-XVI

Quadro 6.3 – Valores recomendados para Tempo de Reverberação e RASTI relativamente ao objectivo de qualidade acústica para *palavra* e para a *música* [adaptado de 79]

Parâmetro	Valores óptimos	
	Palavra	Música
TR <sub>500,1kHz</sub> [s]	1 a 1,5	2 a 4*
RASTI	≥ 0,60	n.a.

n.a. – Não aplicável

\* – Depende do tipo de música

#### 6.1.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Na Figura 6.1 é possível analisar os valores médios do tempo de reverberação de cada igreja em função do seu volume (valores do Quadro 6.1). Verifica-se a existência de dois valores díspares quando comparados com as restantes igrejas. Estes valores são os correspondentes aos tempos de reverberação da Igreja Matriz de Mértola e da Igreja de Santa Clara no Porto. A Igreja Matriz de Mértola possui um tempo de reverberação mais elevado que as restantes igrejas (4,6 s) e a Igreja de Santa Clara um valor bem mais baixo que as restantes (1,3 s).

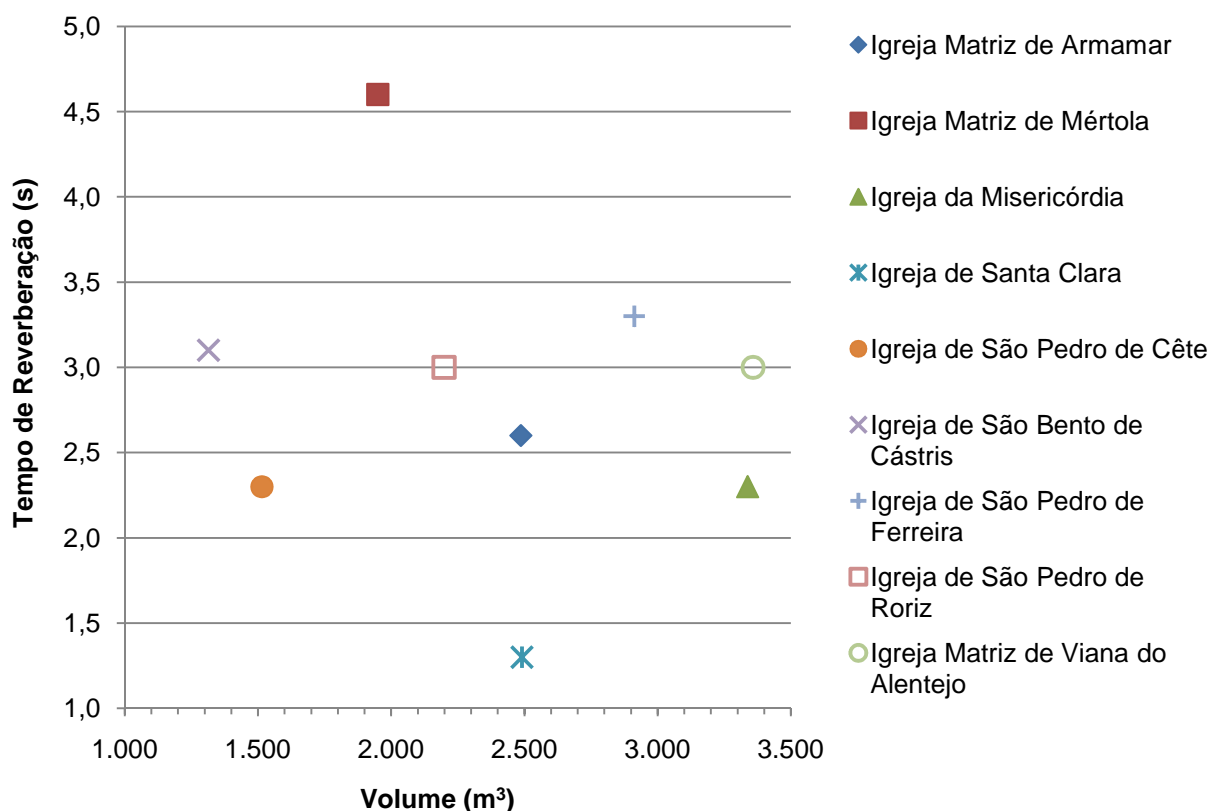


Figura 6.1 – Valores médios dos Tempos de Reverberação nas frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz) nas várias Igrejas Católicas escolhidas para comparação

Ao contrário das igrejas, na Sinagoga do Porto não se podem utilizar instrumentos musicais pelo que não há necessidade de existirem tempos de reverberação elevados que são melhores para a música de órgão por exemplo, ou para os cânticos usuais nas cerimónias religiosas. No entanto, tal como se pode verificar na Figura 6.2, praticamente todas as igrejas possuem valores dos tempos de reverberação inferiores ao valor obtido para a Sinagoga Mekor Haim, quando na realidade o que se poderia verificar era precisamente o oposto.

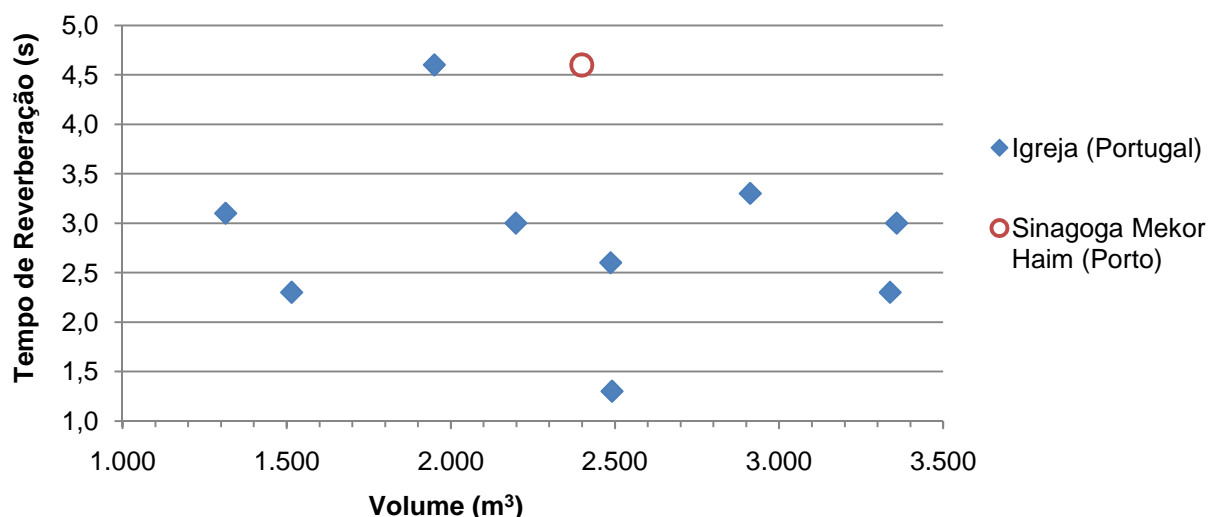


Figura 6.2 – Valores médios do Tempos de Reverberação nas frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz) nas várias Igrejas Católicas escolhidas para comparação e na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

### 6.1.3. RASTI

Na Figura 6.3 é possível analisar os valores médios do RASTI medidos em cada igreja, assim como na Sinagoga Mekor Haim (valores do Quadro 5.4).

Verifica-se que todas as igrejas, com exceção da Igreja Matriz de Mértola apresentam um valor médio de RASTI superior ou igual a 0,40. A Igreja Matriz de Mértola apresenta um RASTI de 0,34, igual ao valor médio do RASTI da Sinagoga. Apenas o valor de RASTI da Igreja de Santa Clara encontra-se dentro dos valores aconselhados pelos autores referenciados nesta comparação. Os restantes valores são todos inferiores. Das nove igrejas consideradas para comparação, apenas uma se pode considerar que tem uma inteligibilidade da palavra *boa* (Igreja de Santa Clara no Porto). Existem três igrejas (Igreja da Misericórdia em Évora, Igreja de São Bento de Cástris também em Évora e a Igreja de São Pedro de Roriz em Roriz, Santo Tirso) que têm uma inteligibilidade *aceitável*, enquanto as restantes apresentam uma inteligibilidade da palavra *pobre*.

A média do RASTI de todas as igrejas consideradas é de 0,45, bastante superior aos 0,34 da Sinagoga Mekor Haim.

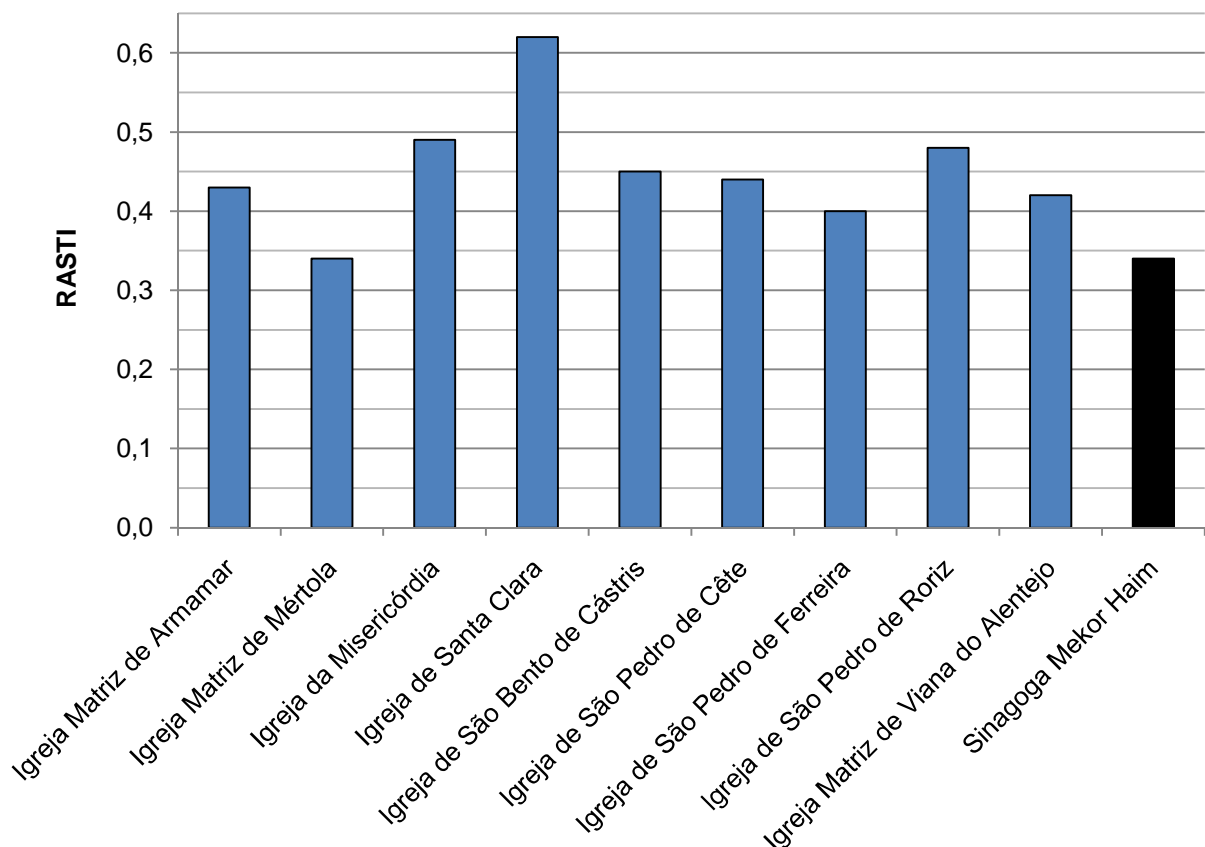


Figura 6.3 – Valores médios de RASTI nas várias Igrejas Católicas escolhidas e na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

## 6.2. COMPARAÇÃO COM MESQUITAS COM VOLUMETRIA SEMELHANTE

### 6.2.1. INTRODUÇÃO

As mesquitas são utilizadas como locais de oração, leitura e pregação, pelo que todas estas acções requerem uma audibilidade e inteligibilidade da palavra elevada (tal como nas sinagogas não existe música). Procuram-se assim valores de tempo de reverberação reduzidos e valores de RASTI elevados. [1, 81]

Tal como nas Sinagogas existe uma separação entre os homens e as mulheres, havendo no entanto a possibilidade de existirem sistemas de reforço electroacústico o que poderá, em certa medida, melhorar a inteligibilidade da palavra nas áreas das mulheres. Os valores apresentados foram medidos sem recorrer a este tipo de sistemas.

Os dados das mesquitas referenciadas neste subcapítulo foram obtidos do trabalho “*Measurement of acoustical characteristics of mosques in Saudi Arabia*” de Adel Abdou [1]. Foram consideradas também as dissertações “Comparação entre a Acústica em Igrejas Católicas e Mesquitas” de Cândido Monteiro [82] e “Caracterização Acústica de Mesquitas – A Mesquita Central de Lisboa” de Carina de Freitas [81].

Das diversas mesquitas estudadas pelos autores referidos, foram escolhidas para comparação as mesquitas com volumes compreendidos entre os 1.561 m<sup>3</sup> e os 2.505 m<sup>3</sup>, por serem próximos dos 2.399 m<sup>3</sup> da Sinagoga Mekor Haim.

No Quadro 6.4 são apresentados os códigos identificativos de cada mesquita utilizados por Adel Abou no seu trabalho [1], assim como aspectos relacionados com a geometria destas e valores médios do RASTI.

Esse autor realizou no seu trabalho a divisão de mesquitas por grupos em função do seu volume, apresentando posteriormente os valores dos tempos de reverberação médios das mesquitas pertencentes a cada grupo. No presente trabalho foram consideradas as mesquitas do Grupo C (volume entre 1.500 m<sup>3</sup> e 2.000 m<sup>3</sup>) e do Grupo D (volume entre 2.000 m<sup>3</sup> e 3.000 m<sup>3</sup>). No Quadro 6.4 são apresentados também os valores dos tempos de reverberação médios do conjunto de mesquitas de cada grupo para as frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz).

Quadro 6.4 – Caracterização das Mesquitas escolhidas para comparação com a Sinagoga Mekor Haim (Porto) e respectivos valores médios de TR (s) para as frequências médias (500 Hz e 1.000 Hz) e RASTI [1]

Mesquita (código)	Volume [m <sup>3</sup> ]	Área [m <sup>2</sup> ]	H <sub>máx</sub> [m]	Capacidade (nº de pessoas)	Grupo	TR [s]	RASTI
KH03	1.561	332	4,7	346	C	1,1	0,42
TH42	1.776	444	4,0	463			0,47
KH12	1.951	465	4,2	484			0,50
DH14	1.994	453	4,4	472			0,42
DM125	2.025	375	5,4	391			0,47
KH59	2.081	368	5,7	384	D	1,7	0,40
TH06	2.200	595	3,7	619			0,51
DM06	2.505	507	4,9	528			0,49
Sinagoga Mekor Haim (Porto)	2.399	222	14,1	196	–	4,6	0,34

### 6.2.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO

No Quadro 6.5 são apresentados os tempos de reverberação médios das mesquitas por grupo em cada banda de frequência.

Na Figura 6.4 é possível analisar a diferença existente entre os tempos de reverberação dos grupos de mesquitas consideradas e da Sinagoga Mekor Haim, tendo por base os valores do Quadro 6.5 e Quadro 5.1.

Em ambos os grupos das mesquitas, o tempo de reverberação mais alto é obtido para a banda dos 125 Hz, enquanto que na Sinagoga o valor mais elevado pertence à banda dos 500 Hz, mas sem grande diferença para as bandas adjacentes.

Apesar de volumetrias e materiais de construção utilizados nos edifícios serem relativamente semelhantes, o comportamento dos valores dos tempos de reverberação ao longo das diversas frequências é bastante distinto, verificando-se em geral, no caso das mesquitas, um decrescimento dos valores do tempo de reverberação à medida que a banda de frequência é maior. Na Sinagoga Mekor Haim temos um decrescimento nas muito altas frequências causado principalmente pelo grande volume da sala. Nas restantes bandas de frequência verifica-se um aumento dos tempos de

reverberação. As diferenças dos valores dos tempos de reverberação, assim como a variação dos mesmos ao longo das bandas de frequência deve-se, neste caso, principalmente dois factores, isto é, ao facto de todo o pavimento das mesquitas ser coberto por tapetes espessos e também pela altura interior de todas as mesquitas consideradas e da Sinagoga serem de ordem de grandeza diferentes.

A diferença da altura interior provoca a diferença de valores nas médias frequências, na medida em que as reflexões provenientes do tecto demoram muito menos tempo a chegar ao resto da sala e consequentemente a extinguirem-se. Assim, estes factores geométricos, em conjunto com os tapetes que revestem o solo, ajudam a reduzir o valor dos tempos de reverberação e a fazer com que estes, de uma forma geral, diminuam ao longo do aumento da frequência.

Quadro 6.5 – Valores do Tempo de Reverberação médio em cada grupo de Mesquitas da Arábia Saudita [adaptado de 1]

Grupo das Mesquitas da Arábia Saudita	Banda de Frequência [Hz]					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Grupo C (Vol. 1.500 – 2.000 m <sup>3</sup> )	2,3	1,4	1,0	1,3	1,4	1,3
Grupo D (Vol. 2.000 – 3.000 m <sup>3</sup> )	2,7	2,1	1,8	1,5	1,4	1,2
Sinagoga Mekor Haim (Porto)	3,4	4,3	4,6	4,6	3,7	2,8

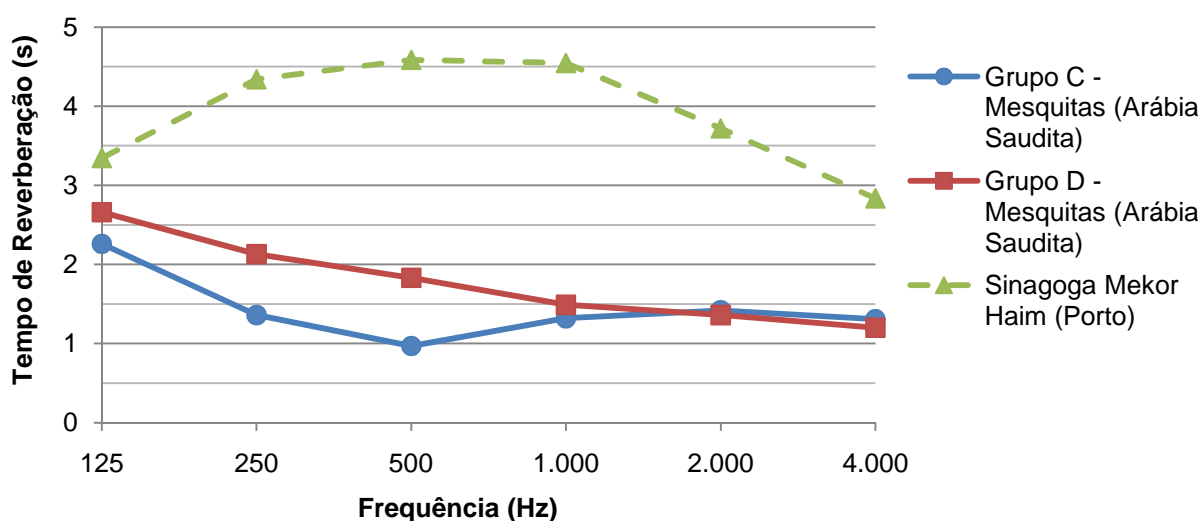


Figura 6.4 – Valores médios do Tempos de Reverberação das Mesquitas da Arábia Saudita e da Sinagoga Mekor Haim (Porto)

### 6.2.3. RASTI

Na Figura 6.5 é possível analisar os valores médios do RASTI medidos em cada mesquita, assim como na Sinagoga Mekor Haim (valores do Quadro 5.3).

Verifica-se que todas as mesquitas consideradas apresentam um valor de RASTI igual ou superior 0,40, sendo que apenas 38% apresentam uma inteligibilidade da palavra *pobre*, enquanto que os restantes 62% apresentam uma inteligibilidade da palavra *aceitável*. No total, as mesquitas



consideradas apresentam um RASTI médio de 0,46. O RASTI da Sinagoga Mekor Haim tem um valor bastante inferior, de 0,34.

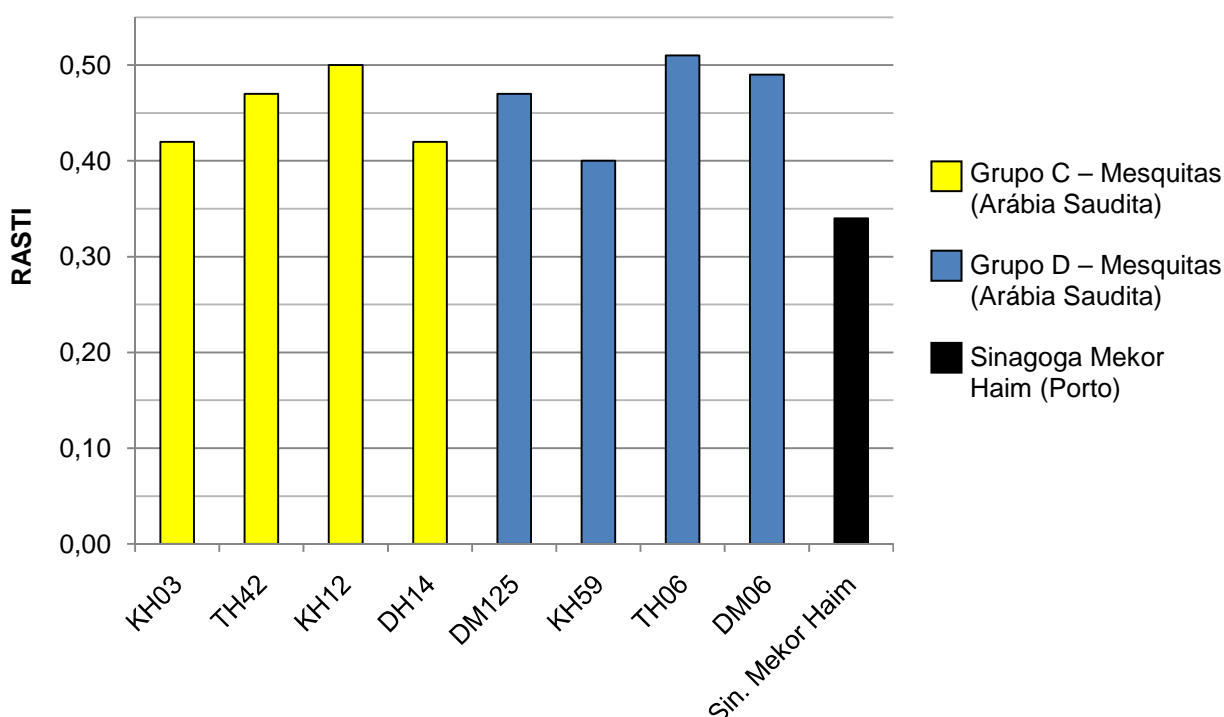


Figura 6.5 – Valores médios de RASTI nas várias Mesquitas escolhidas e na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

### 6.3. COMENTÁRIO FINAL

No Quadro 6.6 é apresentado um breve resumo dos valores médios do tempo de reverberação e do RASTI obtidos nas igrejas consideradas para comparação com a Sinagoga Mekor Haim.

Verifica-se que a Sinagoga apresenta um comportamento acústico pior que as igrejas consideradas e de volumetria semelhante. Esta situação é agravada pelo facto de na Sinagoga não haver necessidade de boas condições para a música, isto é, não serem necessários tempos de reverberação tão elevados.

Quadro 6.6 – Valores médios do Tempo de Reverberação para as frequências médias de 500 Hz e 1.000 Hz e de RASTI das Igrejas escolhidas para comparação (com 1 erro-padrão) e da Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Parâmetro	Igrejas (Portugal)	Sinagoga Mekor Haim (Porto)
$TR_{500,1kHz}$ [s]	$2,8 \pm 0,9$	4,6
RASTI	$0,45 \pm 0,1$	0,34

O resumo dos valores médios do tempo de reverberação e do RASTI obtidos nas mesquitas consideradas para comparação com a Sinagoga Mekor Haim é apresentado no Quadro 6.7.

Mais uma vez é possível comprovar que o comportamento acústico da Sinagoga não é satisfatório, e quando comparado com mesquitas de volumetria semelhante é possível constatar que tem um comportamento bastante pior, tanto ao nível do tempo de reverberação como do RASTI.

Quadro 6.7 – Valores médios do Tempo de Reverberação para as frequências médias de 500 Hz e 1.000 Hz e de RASTI das Mesquitas consideradas para comparação e da Sinagoga Mekor Haim (Porto)

<b>Parâmetro</b>	<b>Mesquitas (Arábia Saudita)</b>	<b>Sinagoga Mekor Haim (Porto)</b>
TR <sub>500,1kHz</sub> [s]	1,1 a 1,7	4,6
RASTI	0,45 a 0,47	0,34



# 7

## MELHORAMENTO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO

### 7.1. TIPOS DE INTERVENÇÃO PARA MELHORAMENTO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO

#### 7.1.1. CORRECÇÃO ACÚSTICA VS. ISOLAMENTO SONORO

##### 7.1.1.1. Definição

Entende-se por correcção acústica todas as intervenções realizadas num compartimento para melhorar o comportamento acústico do mesmo em relação ao som aí emitido (situação clássica de um edifício religioso). [2]

Isolamento sonoro refere-se ao tratamento de um compartimento (sua envolvente) relativamente aos sons de e/ou para algum local contíguo (por exemplo exterior). [2]

Na correcção acústica trabalha-se principalmente com o aumento ou diminuição da absorção sonora dos diversos elementos construtivos e materiais que se encontram no interior de uma determinada sala consoante se pretenda uma diminuição ou aumento dos tempos de reverberação, níveis sonoros e consequentemente uma melhoria de outros parâmetros directa ou indirectamente relacionados com estes. Também se pode actuar na difusão do som dentro do espaço.

Para melhorar o isolamento sonoro tende-se a intervir nos diversos elementos construtivos que separam o local em análise dos locais adjacentes, sejam eles interiores ou exteriores (paredes, lajes, janelas, etc.). Nas melhorias do isolamento sonoro deve-se ter em consideração a que tipo de ruído se pretende efectuar as melhorias, isto é, se a ruído de percussão<sup>11</sup> ou a ruído de condução aérea<sup>12</sup>, ou mesmo aos dois. Em ambos os casos, os ruídos podem-se subdividir em relação à forma como são transmitidos, isto é, via directa ou via marginal (secundária ou indirecta). [2]

##### 7.1.1.2. Correcção acústica

Para realização de correcção acústica são utilizados materiais ou sistemas absorventes sonoros e que se podem agrupar em três categorias em função da sua característica básica: [2]

- Porosos e fibrosos;
- Ressonadores;
- Membranas.

---

<sup>11</sup> Ruídos em que existe solicitação mecânica directa da fonte de irradiação sobre os elementos de construção [2]

<sup>12</sup> Ruídos em que a transmissão é feita unicamente por vibração do ar [2]

Cada categoria é mais eficaz para uma determinada gama de frequências que outra, isto é, os materiais porosos e fibrosos são mais eficazes nas altas frequências, os ressoadores nas médias e as membranas nas baixas (Figura 7.1). [2, 9]

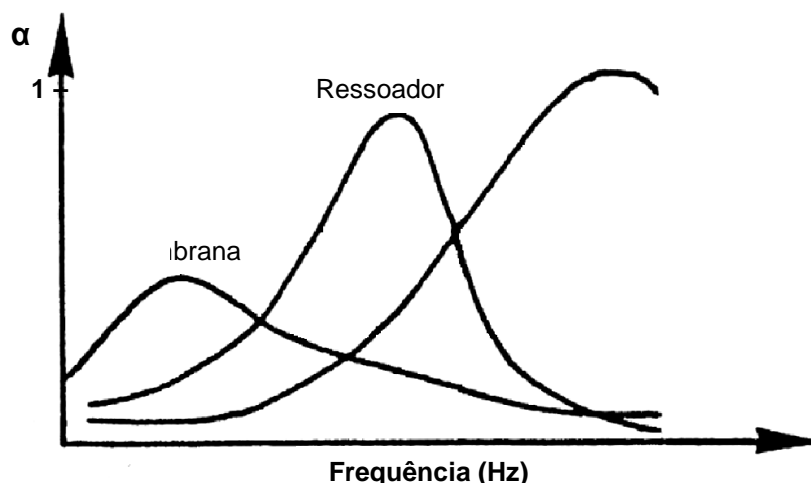


Figura 7.1 – Comportamento em frequência dos três tipos de materiais e sistemas absorventes [2]

Os materiais porosos e fibrosos são mais eficazes nas altas frequências uma vez que o mecanismo de absorção sonora baseia-se na existência de poros e interstícios. A eficácia dos materiais fibrosos depende essencialmente da densidade e espessura destes, e tendo em consideração que os extremos (fibras muito soltas e afastadas, ou muito concentradas) não são eficazes. A eficácia dos materiais porosos depende da capacidade destes em dissiparem a energia nos seus minúsculos poros, pelo que se estes poros forem preenchidos com outros materiais, como por exemplo tinta, a eficiência pode ficar fortemente comprometida. Este tipo de materiais podem ser agrupados em diversos tipos em função das suas características físicas: [2, 7, 9]

- Tecidos e alcatifas;
- Massas porosas (para projecção);
- Aglomerados de fibras de madeira;
- Fibras minerais (mantas e painéis);
- Materiais plásticos;
  - Poliuretano expandido;
  - Poliestireno expandido;
  - Espumas flexíveis de poliuretano;
- Aglomerados de cortiça;
  - Aglomerado negro;
  - Aglomerado composto.

Os ressoadores podem ser isolados ou agrupados e são sistemas com maior eficácia nas médias frequências. Os ressoadores isolados (também designados de ressoadores de cavidade ou de ressoadores de Helmholtz) já eram usados pelos romanos em anfiteatros e continuaram a ser utilizados posteriormente na Idade Média em diversas igrejas e por exemplo, na antiga Sinagoga de Tomar (Figura 3.11). São formados por uma cavidade de paredes rígidas tendo uma única abertura estreita (a forma mais vulgar de um ressoador de Helmholtz é uma garrafa vazia). A zona de eficácia dos ressoadores pode ser alargada em frequência com a inclusão de material absorvente sonoro na caixa-de-ar, perdendo no entanto em amplitude de absorção (Figura 7.2). A frequência de eficácia máxima,  $f$ ,

de um ressoador é obtida pela Equação 7.1, onde  $c$  (m/s) é a celeridade,  $S$  (m<sup>2</sup>),  $r$  (m) e  $l$  (m) a secção, raio e comprimento do gargalo, respectivamente, e  $V$  (m<sup>3</sup>) o volume da cavidade do ressoador (Figura 7.3). [2, 6, 9]

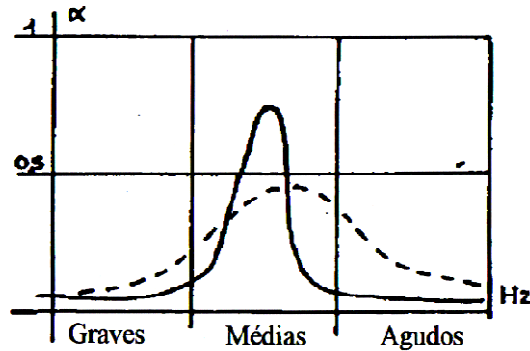


Figura 7.2 – Esquema de variação dos coeficientes de absorção sonora para ressoadores onde se verifica o efeito da inclusão de material absorvente sonoro na caixa-de-ar (linha a tracejado) [2]

$$f \text{ (Hz)} = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{V \cdot (l + 1,6r)}} \quad (7.1)$$

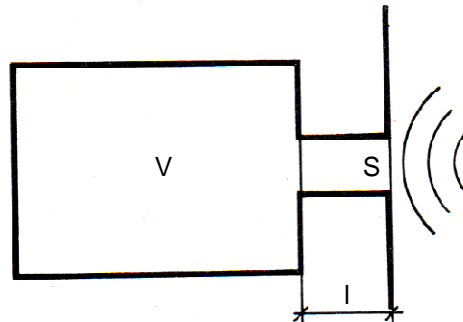


Figura 7.3 – Esquema básico de um ressoador de Helmholtz [6]

Os ressoadores agrupados são, dentro deste sistema, o caso mais utilizado. Um exemplo deste sistema são os painéis perfurados metálicos ou de madeira utilizados para tectos falsos ou paredes (Figura 7.4). A expressão de cálculo dos ressoadores agrupados é dada pela Equação 7.2, onde  $c$  (m/s) é a celeridade,  $P$  (%) é a percentagem de área furada,  $e$  (cm) a espessura da placa perfurada,  $r$  (cm) o raio de cada perfuração e  $d$  (cm) a largura da caixa-de-ar. O aumento da taxa de furação faz aumentar a eficácia deste sistema, atingindo o máximo por volta dos 25%. A partir desse valor, o comportamento do painel fica controlado pelo efeito da porosidade do material absorvente que se encontra incluído neste sistema. [2]

$$f \text{ (Hz)} = \frac{10c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{P}{(e + 1,6r) \cdot d}} \quad (\text{validade : } f \cdot d < 3.400 \text{ Hz.cm}) \quad (7.2)$$

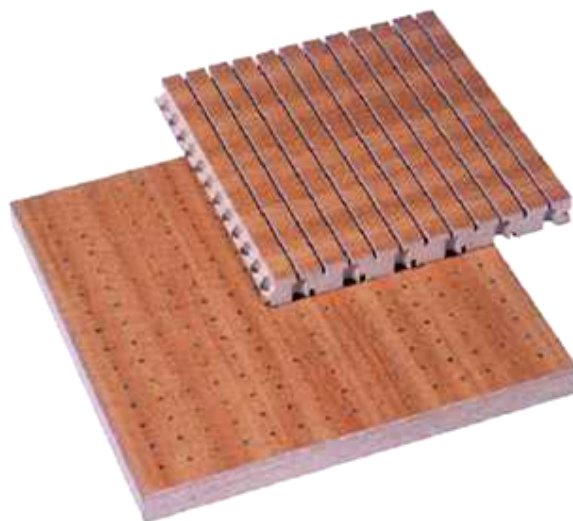


Figura 7.4 – Ressonadores agrupados – painéis perfurados de madeira [83]

As membranas, que também podem ser designadas por membranas ressonantes ou painéis vibrantes, são sistemas mais eficientes nas baixas frequências. Este tipo de sistema absorve as ondas sonoras pela vibração de toda a sua estrutura, que é composta por painéis de pequena espessura mas com uma grande área, e através de perdas de calor por fricção nas suas fibras quando o material entra em flexão. O sistema absorve e dissipa energia para a frequência do som incidente que corresponda à sua frequência natural de vibração, dada pela Equação 7.3 onde  $c$  (m/s) é a celeridade,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) a massa volumica do ar,  $m$  (kg/m<sup>2</sup>) a massa superficial do painel e  $d$  (m) a espessura da caixa-de-ar. [2, 7, 9]

$$f \text{ (Hz)} = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{m \cdot d}} \cong \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}} \quad (7.3)$$

A colocação dos materiais absorventes é usual ser feita no revestimento das paredes e tectos, quer seja com ou sem caixa-de-ar. Existe no entanto um outro modo de colocação de materiais absorventes, principalmente porosos e fibrosos, que é através da suspensão vertical no tecto. São designados de absorsores suspensos ou *baffles*. Este método não só permite aumentar a área disponível para absorção (considerando a hipótese de revestir todo o tecto na horizontal) como também permite que cada absorsor actue nas duas faces que possui. [2, 7]

A colocação específica de todos estes sistemas no interior de um compartimento não é indiferente, pelo que também se deve ter em atenção se é preciso actuar sobre o campo directo<sup>13</sup> ou sobre o campo reverberado<sup>14</sup>, ou em ambos. Não adianta actuar exclusivamente sobre o “campo reverberado” quando o campo directo não apresenta resultados satisfatórios, assim como também não se torna necessário actuar sobre o “campo directo” quando o problema se encontra na elevada reverberação e consequente mascarar dos sons. [2]

<sup>13</sup> Com origem nas ondas directas

<sup>14</sup> Com origem nas ondas reflectidas



### 7.1.1.3. Isolamento sonoro

As melhorias do isolamento sonoro caracterizam-se essencialmente no tratamento da envolvente de um determinado local, por forma a reduzir o ruído proveniente do exterior ou de espaços adjacentes, ou a evitar que o ruído produzido no local afecte os espaços vizinhos. O tratamento do espaço deve ter em conta se o ruído é de percussão ou de condução aérea, e ter em atenção as transmissões directas e marginais. [2, 7]

De uma forma geral, os dois grandes meios para se actuar por forma a aumentar o isolamento sonoro de um elemento construtivo a ruídos aéreos prendem-se com o aumento da sua massa e/ou a existência de uma duplicação física do material separador. [2]

No entanto, em elementos simples existem muitos outros factores a ter em conta para além da massa do elemento, como por exemplo a frequência do som incidente, a frequência crítica, frequências próprias, factor interno de amortecimento, campo sonoro incidente, permeabilidade, rigidez, etc. Já nos elementos duplos são vários também os factores que fazem variar o isolamento sonoro. Além dos já descritos para os elementos simples, é preciso ter em conta o afastamento entre panos (espessura da caixa de ar), a colocação ou não de um material absorvente no interior da caixa-de-ar, assim como o efeito de ressonância de cavidade existente na caixa-de-ar. [2]

Mas os elementos construtivos não actuam de forma isolada, mas sim integrados numa envolvente espacial tridimensional, pelo que é importante ter em consideração as transmissões marginais (pelas uniões). [2]

Os ruídos de percussão são aqueles que têm origem na solicitação mecânica directa da fonte sobre os elementos construtivos, pelo que existem três áreas genéricas para controlar a transmissão dos ruídos de percussão, isto é, directamente na fonte, no caminho de transmissão e perto do receptor. [2]

Actuando na fonte é possível melhorar o isolamento a ruídos de percussão, como por exemplo, afastando a fonte de vibração da área onde os baixos níveis sonoros são desejados, reduzindo a potência da fonte de vibração, providenciando isolamento à vibração entre a fonte e a estrutura ou aplicando camadas resilientes em superfícies sujeitas a impacto. No caminho de transmissão é possível actuar isolando a fonte de vibração de áreas onde são desejados baixos níveis sonoros através de descontinuidades estruturais ou mesmo completa separação estrutural, ou através de uma separação dinâmica de componentes, isto é, através da aplicação de camadas resilientes ou ligações flexíveis. Perto do receptor é possível actuar, por exemplo, através da aplicação de tectos suspensos resilientes. [2]

## 7.2. CORRECÇÃO ACÚSTICA NA SINAGOGA MEKOR HAIM

### 7.2.1. IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS

Na Sinagoga Mekor Haim o principal problema é sem dúvida o elevado tempo de reverberação (Quadros 5.1 e 5.2), causado principalmente pelo grande volume e pé-direito da sala, e pelos materiais utilizados na construção que, possuindo um coeficiente de absorção sonoro extremamente baixo, são muito reflectores. Com isto, a inteligibilidade da palavra também é afectada como se pode confirmar através dos valores obtidos do RASTI (Quadros 5.4 e 5.5).

O ruído de fundo gerado pelo tráfego rodoviário é perceptível devido ao baixo isolamento sonoro que as grandes janelas existentes nas fachadas laterais da Sinagoga possuem. No entanto, tal como se verificou nas curvas NC (Figuras 5.44 e 5.45), o ruído de fundo não é muito incómodo, pelo que a necessidade de tratamento deste problema é mais baixa, mas seria útil realizar tratamento para

colmatar pequenas frinchas existentes entre as portas de ligação do local de culto com os espaços adjacentes, assim como para melhorar a estanquidade das caixilharias.

Estes são os principais problemas relacionados com a acústica da sala e que merecem especial atenção para serem corrigidos. Existe no entanto uma outra questão e que, de certa forma, também se pode considerar de problema, que surge com a necessidade de se realizarem correcções acústicas mas tentando manter o aspecto arquitectónico do interior do local, que conta já com mais de setenta anos e tem uma relevância simbólica a manter.

#### 7.2.2. SUGESTÕES DE INTERVENÇÕES

Sendo o tempo de reverberação o principal problema é sobre este problema que as correcções acústicas devem surtir principal efeito.

A existência de materiais reflectores em praticamente todos os elementos construtivos existentes no local de culto tornam fácil a identificação do problema, mas seguindo a ideia de manter o aspecto arquitectónico do interior do local, torna-se necessário identificar quais os elementos em que é possível actuar sem afectar em demasia todo o aspecto visual. Deste modo, ficam logo à partida excluídas todas as paredes laterais, que se encontram revestidas a azulejos.

Um elemento bastante problemático existente na sala é a cúpula. As cúpulas, devido à sua curvatura, tendem a concentrar e causar múltiplas reflexões para o piso. Desta forma, actuando na cúpula através do aumento da absorção sonora, seria possível reduzir/eliminar as reflexões existentes nesta e consequentemente reduzir o tempo de reverberação.

Todas as bandas de frequência necessitam de ser tidas em consideração na escolha dos materiais/técnicas utilizadas na correcção acústica, mas tendo especial atenção nas frequências médias e baixas, não só por apresentarem valores mais elevados, mas também porque não têm no volume de ar existente no espaço um bom absorvedor, ao contrário das altas frequências.

Os sistemas tipo membranas seriam os mais indicados para corrigir/reduzir os valores do tempo de reverberação nas baixas frequências. No entanto, como o dimensionamento deste sistema é realizado para uma frequência em específico, pode não ser a melhor solução visto ser necessário uma correcção em praticamente todas as bandas de frequência. Seria possível abranger uma maior gama de frequências com este sistema através da colocação de um material poroso no tecto do mesmo, no entanto este sistema iria necessitar de uma grande espessura, não para a membrana em si que precisa de uma espessura reduzida, mas para a caixa-de-ar necessária e também para o material poroso. Para além disso seria necessário recorrer a fixação mecânica que poderia ser algo trabalhosa uma vez que a mesma seria feita em elementos de betão.

Existem soluções que não necessitam de fixação mecânica pontual (são sistemas colados ou materiais projectados) que actuam de forma bastante eficaz sobre as médias e altas frequências, embora apresentando um comportamento menos eficaz nas baixas frequências. A eficiência está ainda directamente relacionada com a espessura da solução adoptada, permitindo ainda, em alguns casos, possuir um acabamento (quase) visualmente idêntico ao existente antes da correcção. Para além disto seria possível estender este tipo de tratamento a alguns elementos verticais e horizontais próximos da cúpula, melhorando assim um pouco mais os resultados.

Uma primeira solução seria o recurso a sistemas de celulose projectada tipo *K-13* [84], projectada directamente sobre a superfície da cúpula. Este tipo de solução após aplicada não tem qualquer tipo de tratamento de acabamento, pelo que a textura que adquire, mais ou menos notória, depende da textura

adoptada. Cada tipo de solução também tem coeficientes de absorção diferentes para as mesmas espessuras, sendo que algumas soluções possuem um maior intervalo de espessuras passíveis de serem aplicadas. No Quadro 7.1 é possível verificar os diferentes coeficientes de absorção, para cada banda de frequência, em cada uma destas soluções em função da espessura utilizada.

Quadro 7.1 – Valores do coeficiente de absorção sonora da solução tipo *K-13* para cada banda de frequência em função da espessura e tipo de textura [adaptado de 84]

Textura	Espessura [mm]	Banda de Frequência [Hz]					
		125	250	500	1.000	2.000	4.000
<i>K-13 standard</i>	19	0,06	0,19	0,55	0,89	0,91	0,93
	25	0,08	0,29	0,75	0,98	0,93	0,96
	38	0,18	0,50	0,95	1,00	1,00	0,97
	50	0,29	0,67	1,00	1,00	1,00	0,97
	76	0,70	0,95	1,00	0,85	0,85	0,90
<i>K-13 special</i>	13	0,09	0,22	0,58	0,79	0,98	1,00
	16	0,10	0,35	0,83	0,88	0,99	1,00
	19	0,09	0,35	0,87	0,87	1,00	1,00
	25	0,14	0,54	0,93	1,00	1,00	1,00
	32	0,18	0,60	0,98	1,00	1,00	1,00
<i>K-13 fc</i>	12	0,15	0,16	0,46	0,87	1,00	1,00
	19	0,18	0,27	0,67	1,00	1,00	1,00
	25	0,22	0,38	0,88	1,00	1,00	1,00

Uma variante da solução apresentada anteriormente consiste na projecção de fibras celulósicas que posteriormente sofre um acabamento manual, permitindo assim vários tipos de acabamento, e consequentemente mais próximos do aspecto existente antes do tratamento (tipo *SonaKrete* [85]). No Quadro 7.2 são apresentados os valores do coeficiente de absorção sonora, para cada banda de frequência, em função da espessura da solução.

Quadro 7.2 – Valores do coeficiente de absorção sonora da solução tipo *SonaKrete* para cada banda de frequência em função da espessura [adaptado de 85]

Espessura [mm]	Banda de Frequência [Hz]					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
6	0,01	0,07	0,39	0,69	0,83	0,87
10	0,06	0,11	0,46	0,77	0,84	0,89
13	0,01	0,16	0,49	0,89	1,00	0,97
19	0,25	0,48	0,81	0,85	0,85	0,94

Outra solução que permite um acabamento mais fino consiste em painéis de lã mineral posteriormente barrados com uma massa mineral por forma a se obter uma superfície contínua. Este sistema é colado sobre uma base, que pode ser de betão, gesso cartonado, etc., adaptando-se com grande facilidade a superfícies curvas (tipo *Baswaphon* [86]). A espessura total do sistema é em função do painel base de 30 mm a 68 mm. No Quadro 7.3 são apresentados os valores dos coeficientes de absorção sonora para cada banda de frequência para duas espessuras distintas deste sistema.

Quadro 7.3 – Valores do coeficiente de absorção sonora da solução tipo *Baswaphon* para cada banda de frequência em função da espessura [adaptado de 86]

Espessura [mm]	Banda de Frequência [Hz]					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
40	0,33	0,54	0,82	0,79	0,74	0,52
68	0,57	0,82	0,77	0,65	0,63	0,49

### 7.2.3. PREVISÃO DE TEMPOS DE REVERBERAÇÃO APÓS CORRECÇÃO

Considerando os três tipos de soluções apresentadas no subcapítulo anterior, foram realizados alguns cálculos para obter uma previsão aproximada dos valores do tempo de reverberação após se realizarem os tratamentos, e também se comparar as diferenças entre cada solução.

Os cálculos foram realizados considerando que apenas a cúpula seria intervencionada e sala vazia.

Nos Quadros 7.4 a 7.6 são apresentados os valores do tempo de reverberação por banda de frequência, assim como também o valor médio para as frequências médias (500 Hz – 1.000 Hz) para cada solução em função da sua espessura. Não são diferenciados os valores obtidos para o piso dos homens e das mulheres uma vez que a diferença entre o valor médio para as frequências médias (500 Hz – 1.000 Hz) é nula, e a diferença entre os valores por banda de frequência também é nula ou muito próxima do nula.

Quadro 7.4 – Valores previstos do Tempo de Reverberação médio para cada banda de frequência e para as frequências médias de 500 e 1.000 Hz na Sinagoga Mekor Haim (Porto) após correcção acústica com solução tipo *SonaKrete*

Solução	Espessura [mm]	Banda de Frequência [Hz]						TR [s]
		125	250	500	1.000	2.000	4.000	
<i>SonaKrete</i>	6	3,7	4,4	3,3	2,6	2,2	1,8	3,0
	10	3,5	4,2	3,2	2,5	2,1	1,8	2,8
	13	3,7	4,0	3,1	2,3	2,0	1,7	2,7
	19	3,0	3,0	2,4	2,4	2,1	1,8	2,4

Quadro 7.5 – Valores previstos do Tempo de Reverberação médio para cada banda de frequência e para as frequências médias de 500 e 1.000 Hz na Sinagoga Mekor Haim (Porto) após correcção acústica com solução tipo *K-13*

Solução	Espessura [mm]	Banda de Frequência [Hz]						TR [s]
		125	250	500	1.000	2.000	4.000	
<i>K-13</i>	19	3,5	3,9	2,9	2,3	2,1	1,8	2,6
	25	3,4	3,5	2,5	2,2	2,0	1,7	2,4
	38	3,2	3,0	2,2	2,2	2,0	1,7	2,2
	50	2,9	2,6	2,2	2,2	2,0	1,7	2,2
	76	2,2	2,2	2,2	2,4	2,1	1,8	2,3
<i>K-13 special</i>	13	3,4	3,8	2,9	2,5	2,0	1,7	2,7
	16	3,4	3,3	2,4	2,3	2,0	1,7	2,4
	19	3,4	3,3	2,4	2,3	2,0	1,7	2,3
	25	3,3	2,9	2,3	2,2	2,0	1,7	2,2
	32	3,2	2,7	2,2	2,2	2,0	1,7	2,2
<i>K-13 fc</i>	12	3,2	4,0	3,2	2,3	2,0	1,7	2,7
	19	3,2	3,6	2,7	2,2	2,0	1,7	2,4
	25	3,1	3,3	2,3	2,2	2,0	1,7	2,3

Quadro 7.6 – Valores previstos do Tempo de Reverberação médio para cada banda de frequência e para as frequências médias de 500 e 1.000 Hz na Sinagoga Mekor Haim (Porto) após correcção acústica com solução tipo *Baswaphon*

Solução	Espessura [mm]	Banda de Frequência [Hz]						TR [s]
		125	250	500	1.000	2.000	4.000	
<i>Baswaphon</i>	40	2,8	2,9	2,4	2,5	2,3	2,2	2,4
	68	2,4	2,4	2,5	2,7	2,4	2,2	2,6

No Quadro 7.7 e Figura 7.5 são apresentadas as variações dos valores do tempo de reverberação ao longo das várias bandas de frequência para quatro soluções, sendo duas soluções do tipo *K-13*, uma do tipo *SonaKrete* e outra do tipo *Baswaphon*. São também apresentados os valores para uma situação de ocupação da sala com 25% da lotação total para cada solução considerada.

Quadro 7.7 – Valores previstos do Tempo de Reverberação médio para cada banda de frequência para quatro soluções tipo com a sala vazia e com ocupação de 25% da lotação

Solução tipo	Espessura [mm]	Taxa de ocupação [%]	Banda de Frequência [Hz]					
			125	250	500	1.000	2.000	4.000
s/ Correção	–	0	3,3	4,3	4,6	4,5	3,7	2,8
K-13	76	0	2,2	2,2	2,2	2,4	2,1	1,8
	76	25	2,0	2,0	1,9	2,0	1,8	1,5
K-13 fc	25	0	3,1	3,3	2,3	2,2	2,0	1,7
	25	25	2,7	2,9	2,0	1,8	1,7	1,5
SonaKrete	19	0	3,0	3,0	2,4	2,4	2,1	1,8
	19	25	2,7	2,6	2,1	2,0	1,8	1,5
Baswaphon	40	0	2,8	2,9	2,4	2,5	2,3	2,2
	40	25	2,5	2,5	2,1	2,0	1,9	1,8

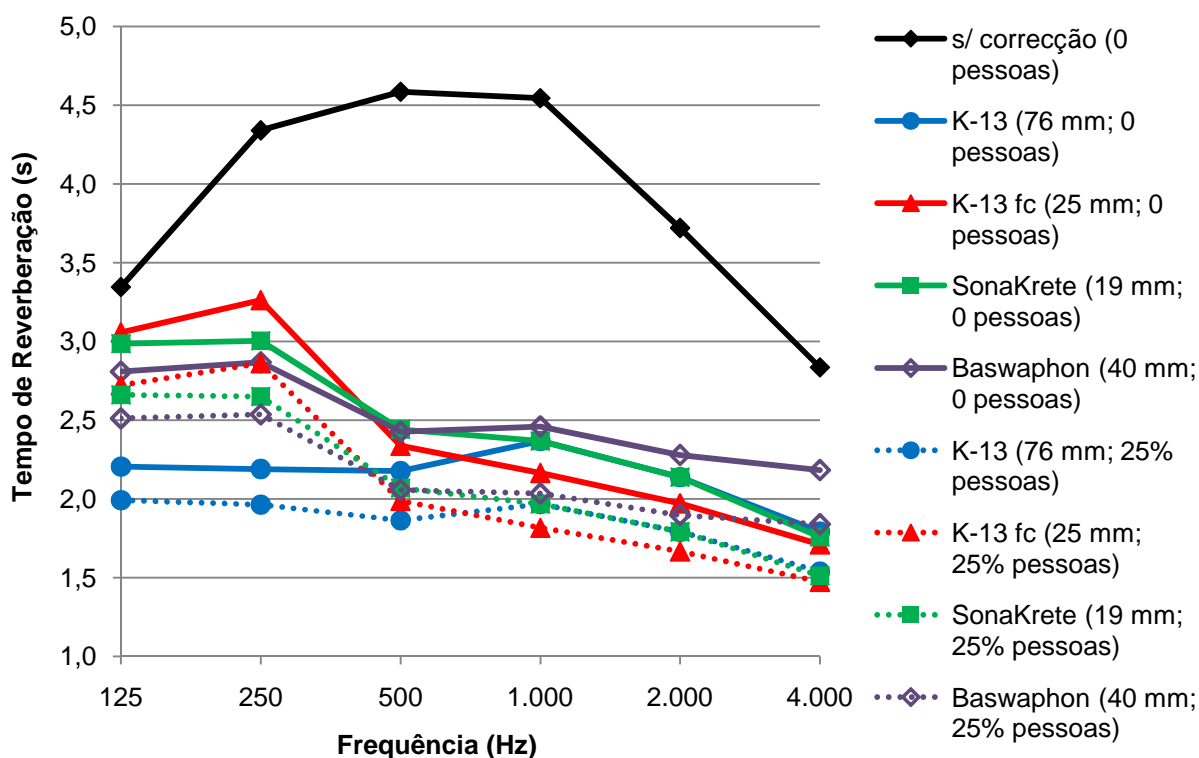


Figura 7.5 – Variação dos valores do Tempo de Reverberação previstos em função da solução tipo e taxa de ocupação da Sinagoga Mekor Haim (Porto)

#### 7.2.4. ANÁLISE DE CUSTOS

Após análise técnica das quatro soluções tipo apresentadas no Quadro 7.7, torna-se importante realizar também uma análise económica, uma vez que os valores estimados para o tempo de reverberação após realização das correcções acústicas são um pouco idênticos.

Deste modo, são apresentados no Quadro 7.8 os custos por metro quadrado de aplicação de cada uma das quatro soluções tipo para uma cúpula de 108 m<sup>2</sup>, assim como o custo total de cada solução.

Verifica-se que as duas soluções do tipo *K-13* e a solução do tipo *SonaKrete* apresentam valores muito idênticos, e no geral, menos de metade do custo da solução tipo *Baswaphon*.

Quadro 7.8 – Valores por m<sup>2</sup> e custo total de aplicação das quatro soluções tipo

Solução	Preço (aprox.) [€/m <sup>2</sup> ]	Custo Total (aprox.) [€]
<i>K-13</i> (76 mm)	69	7.500
<i>K-13 fc</i> (25 mm)	60	6.500
<i>SonaKrete</i> (19 mm)	64	7.000
<i>Baswaphon</i> (40mm)	130	14.000,00

#### 7.2.5. CONCLUSÕES

Através da análise dos Quadros 7.4 a 7.7 e Figura 7.5 é possível verificar que existem soluções que apresentam melhores resultados para o valor médio do tempo de reverberação para as frequências médias (500 Hz – 1.000 Hz) em função da espessura que outras. Outras soluções mantêm um valor do tempo de reverberação mais uniforme ao longo das várias bandas de frequência, e existem ainda soluções que são mais eficazes nas baixas frequências que outras.

Verifica-se também que em praticamente todas as soluções é garantida uma melhoria de 2 s ou mais no tempo de reverberação médio para as frequências médias (500 Hz – 1.000 Hz), o que por si só já é uma grande melhoria, mas ainda assim o valor médio é em todas as soluções superior ao valor máximo recomendado de 1 a 1,5 s. Seria possível reduzir o tempo de reverberação para os valores recomendados, ou próximos destes, caso se realizassem correcções em mais alguns elementos constituintes do interior do espaço de culto da Sinagoga Mekor Haim e sem afectar demasiado o aspecto visual do interior do local, como por exemplo nos tectos dos balcões, tecto do piso superior e também nos elementos laterais dos arcos que suportam a cúpula.

A solução que parece mais equilibrada, apesar de não ser a que possui um tempo de reverberação médio mais baixo, é a solução do tipo *K-13* com uma espessura de 76 mm. É no entanto uma solução com uma espessura algo elevada, pelo que se for realizada uma comparação entre soluções a uma espessura de cerca de 25 mm, chega-se à conclusão que dentro da solução tipo *K-13* as melhores opções são entre a solução *Special* e *FC*. Não é possível comparar directamente esta solução com a do tipo *SonaKrete* uma vez que apenas se possuem resultados até aos 19 mm, mas mesmo assim é uma solução a ter-se em conta, pois mesmo com menos 6 mm apresenta resultados próximos das soluções tipo *K-13* de 25 mm. A solução tipo *Baswaphon* (de maior custo financeiro) apresenta melhores resultados para as bandas de frequência mais baixas, mas ainda assim, se for comparada com a solução tipo *K-13* com as espessuras 50 mm e 76 mm (espessuras mais próximas da solução mais eficaz do tipo *Baswaphon*), verifica-se que a solução tipo *K-13* é tão ou mais eficaz nas baixas frequências, e



bastante mais eficaz nas médias e altas frequências. A solução de 40 mm do tipo *Baswaphon* apresenta resultados também muito equilibrados, e um valor médio do tempo de reverberação para as frequências médias (500 Hz – 1.000 Hz) inferior ao da solução de 68 mm, mas comparando com a solução de 19 mm do tipo *SonaKrete* não apresenta grandes diferenças nas baixas frequências, e nas médias e altas frequências apresenta inclusive, um comportamento pior.

A nível de custo de aplicação, a solução do tipo *Baswaphon* apresenta um custo muito mais elevado que as restantes soluções tipo. Nas restantes três soluções tipo os valores variam cerca de mil euros entre a solução mais barata (solução tipo *K-13 fc*) e a solução mais cara (solução tipo *K-13*).

Comparando a solução tipo *K-13 fc* com a solução tipo *SonaKrete* verifica-se que os valores previstos para o tempo de reverberação são idênticos, pelo que a diferença de custo entre ambas as soluções aponta a solução tipo *K-13 fc* (mais barata) como sendo a melhor opção.

É também possível comparar a solução tipo *K-13 fc* com a solução tipo *K-13* de 76 mm, apesar da diferença de custos (solução tipo *K-13* de 76 mm cerca de mil euros mais cara que solução tipo *K-13 fc*), sendo no entanto necessária uma análise custo/benefício.

Ambas as soluções apresentam comportamentos para as médias e altas frequências bastante idênticos e sem diferenças significativas nos valores dos tempos de reverberação. No entanto, para as baixas frequências (125 e 250 Hz), a solução tipo *K-13* de 76 mm apresenta um comportamento bastante melhor que a solução tipo *K-13 fc*, com os valores dos tempos de reverberação a serem cerca de 1 s inferiores na primeira solução. Para a solução tipo *K-13 fc* apresentar os mesmos valores nas baixas frequências, seria necessário aumentar a área a tratar o que reduziria (ou tornaria nula) a diferença de custos entre ambas as soluções, além de que era necessário garantir que esse aumento de área a tratar não iria contra a necessidade de manter o aspecto arquitectónico do interior. Outra solução seria conciliar a solução tipo *K-13 fc* com um sistema tipo membrana que é mais eficaz nas baixas frequências. Acontece que estes sistemas, tal como referenciado em 7.1.1.2., são dimensionados para uma gama estreita de frequências específicas pelo que, para apresentarem um bom funcionamento numa gama alargada de frequências é necessária a introdução de material absorvente no tardo dos painéis, o que implica um aumento da espessura de toda a solução. A grande espessura necessária torna-se de certo modo incompatível com a necessidade de manter o aspecto arquitectónico do interior do local, além de que faz também o custo da solução aumentar. Deste modo, conclui-se que a solução tipo *K-13* de 76 mm é a melhor quando tida em conta uma breve análise custo/benefício.

## 8

CONCLUSÕES E  
DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

## 8.1. CONCLUSÕES

O presente estudo tinha como principal objectivo a caracterização acústica da Sinagoga Mekor Haim (Porto), mais em específico do local de culto. É um trabalho pioneiro na área, na medida em que até à presente data não existe nenhuma caracterização acústica de sinagogas de Portugal.

Procedeu-se assim a medições acústicas realizadas *in situ* com o objectivo de caracterizar o espaço do ponto de vista acústico. Foram medidos três parâmetros: o tempo de reverberação, os níveis de pressão sonora do ruído de fundo e o RASTI.

Para além destes parâmetros foi analisada a incomodidade do ruído de fundo de tráfego rodoviário através dos métodos *Noise Criteria* e *Noise Rating*, que apesar de serem métodos com mais uso na análise da incomodidade de ruídos contínuos, como por exemplo de equipamentos AVAC (equipamentos que não existem na Sinagoga Mekor Haim) serviram para se ter uma ideia da incomodidade gerada pelo ruído de fundo do tráfego rodoviário medido e estabilizado ao fim de 5 minutos.

No Quadro 8.1 é possível verificar que os valores médios do tempo de reverberação medidos na Sinagoga Mekor Haim (4,6 s) são muito superiores aos ideias para salas onde a inteligibilidade da palavra é importante (1 a 1,5 s).

Estes valores tão elevados devem-se principalmente ao grande volume da sala assim como todos os materiais muito reflectores existentes nos diversos elementos construtivos do espaço. As frequências muito altas são as que apresentam valores mais baixos (ainda assim muito elevados) devido à grande absorção que o ar (volume) provoca nas muito altas frequências. A dispersão dos valores dos tempos de reverberação por banda de frequência é muito reduzida, sendo mais notória nas duas frequências mais baixas (125 Hz e 250 Hz), não sendo no entanto um valor muito elevado.

Relativamente à inteligibilidade da palavra, tanto o piso de culto dos homens como o das mulheres apresenta um resultado *pobre* (RASTI = 0,37) sendo que o resultado no piso das mulheres já se encontra muito próximo da *má* (RASTI = 0,31). A nível dos diversos pontos medidos no piso dos homens e das mulheres, apenas um verificou uma inteligibilidade da palavra *aceitável*, sendo que os restantes apresentaram todos valores muito baixos, com uma inteligibilidade *pobre*. No piso das mulheres um ponto já possui uma inteligibilidade *má*.

Verificou-se ainda que os pontos com melhor inteligibilidade da palavra eram aqueles que se situam no centro da sinagoga e no alinhamento da fonte, apresentando sempre valores acima da média. Tendo

sido feita uma análise por zonas, verificou-se que no piso dos homens a zona mais próxima da Bimá era aquela que apresentava melhores resultados, com valores próximos do *aceitável*, enquanto as restantes zonas eram *pobres*. Já no piso das mulheres, verificou-se que das três zonas, a que apresentou melhores resultados foi a zona central.

O nível de pressão sonora do ruído de fundo (tráfego) teve um valor global de 57 dB, existindo no entanto uma diferença de 5 dB entre o piso dos homens e o das mulheres, ficando-se a dever principalmente ao facto de o piso das mulheres possuir cinco janelas de cada lado da fachada com a altura de todo o pé-direito deste piso, formando pontos fracos a nível de isolamento sonoro do exterior para o interior, enquanto que no piso dos homens estas janelas apenas integram uma pequena parte do pé-direito (zona mais superior) sendo a restante separação ao exterior realizada com paredes de betão. O nível sonoro global da sala é de 37 dB(A).

Tendo os valores do nível de pressão sonora do ruído de fundo e utilizando as curvas dos métodos do *Noise Criteria* e *Noise Rating* foi-se verificar o nível de incomodidade que o ruído de fundo do tráfego rodoviário poderia gerar nas pessoas. Obtiveram-se assim para o piso dos homens e das mulheres valores muito próximo dos aconselhados para este tipo de salas (NC-30), sendo que no piso dos homens obteve-se NC-31 e no das mulheres NC-32. Já em relação aos valores de *Noise Rating*, obteve-se para o piso dos homens NR-32 e para o piso das mulheres NR-33, estando também acima do valor máximo aconselhado (NR-30).

Estes resultados foram confrontados com a opinião pessoal e transmitida a Jorge Neves, Vice-Presidente da Comunidade Israelita do Porto. Sendo que as principais queixas vinham das mulheres, foi possível verificar a coincidência destas queixas com os valores obtidos e as suas diferenças para com os valores obtidos para o piso dos homens.

Quadro 8.1 – Quadro resumo dos valores médios medidos na Sinagoga Mekor Haim (Porto)

Parâmetro		Piso Térreo (Homens)	Balcões (Mulheres)	Observações
Tempo de Reverberação	TR <sub>500-1 kHz</sub> [s]	4,6	4,6	Desejável: 1,0 – 1,5 s
<i>Rapid Speech Transmission Index</i>	RASTI	0,37	0,31	Resultado: <i>Pobre</i> Desejável: ≥ 0,60
Nível de Pressão Sonora	L [dB]	54	59	Desejável: ≤ 45
Nível Sonoro	L <sub>A</sub> [dB]	36	37	Desejável: ≤ 35
<i>Noise Criteria</i>	NC	NC-31	NC-32	Desejável: ≤ 30
<i>Noise Rating</i>	NR	NR-32	NR-33	Desejável: ≤ 30

No presente trabalho foram realizadas também comparações em termos de comportamento acústico com igrejas católicas e mesquitas, de volumetria semelhante.

O resultado final a que se chegou foi idêntico em ambos os casos, na medida em que a Sinagoga Mekor Haim (Porto) apresenta valores de tempo de reverberação muito superiores aos das igrejas e mesquitas consideradas para comparação, e um valor de RASTI bastante mais reduzido, isto é, um comportamento acústico bastante inferior aos desses locais de culto de volumetria semelhante.

Por o comportamento acústico da Sinagoga Mekor Haim (Porto) ser deficiente, foram apresentadas algumas sugestões para melhoramento, tendo por base a ideia de tentar não alterar em demasia o aspecto arquitectónico interior do local. Posto isto, foram feitos cálculos para se prever qual a melhoria que se obteria nos valores do tempo de reverberação intervencionando apenas a cúpula do local.

Verificou-se que é possível obter melhorias da ordem dos 2 s no valor médio do tempo de reverberação, mas ficando ainda assim, a alguma distância do valor máximo recomendado de 1 a 1,5 s. Seria portanto necessária a intervenção noutros elementos construtivos do local de culto, por forma a reduzir um pouco mais os valores do tempo de reverberação e consequentemente este se aproximasse dos valores aconselhados.

A nível do custo de realização das sugestões apresentadas para melhoramento do comportamento acústico da Sinagoga Mekor Haim (Porto) verificou-se que a solução tipo *Baswaphon* era a que apresentava um custo financeiro mais elevado, bastante superior às restantes soluções. Entre a solução tipo *SonaKrete* e a solução tipo *K-13 fc* verificou-se que esta última seria a melhor escolha, uma vez que apresentava um menor custo e a nível técnico apresentavam ambas as soluções tipo resultados praticamente idênticos. Comparando a solução tipo *K-13* de 76 mm com a solução tipo *K-13 fc* verificou-se que apesar da primeira apresentar um custo mais elevado (cerca de mil euros), a relação custo/benefício da solução tipo *K-13* de 76 mm favorecia esta.

## 8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Este estudo poderia ser complementado com a medição do RASTI simulando a situação do comentário da Tora, feito por um homem do lugar onde se encontra sentado. Para além da medição deste local, também se poderia realizar a medição do RASTI no local onde o chantre se situa virado para a Arca da Aliança. Estas duas medições extra ajudariam a perceber as diferenças de percepção da palavra ao longo das diversas fases do serviço religioso, além de que dariam dados mais concretos do porquê das mulheres apresentarem várias queixas relativamente à percepção da palavra.

Em relação ao tempo de reverberação poder-se-iam efectuar medições com variações na lotação do local de culto (por exemplo 1/3, 2/3 e lotada) e também variar na percentagem de mulheres e homens presentes (pois estão em locais diferentes), e assim perceber melhor as variações que poderiam ocorrer nos valores do tempo de reverberação consoante a lotação e distribuição pela sinagoga.

Uma análise subjectiva mais detalhada através da realização de inquéritos a vários elementos do sexo masculino e feminino da Sinagoga Mekor Haim (Porto) também seria algo que complementaria o presente estudo.

Por último, a utilização de outros parâmetros acústicos que ajudassem a complementar os resultados já obtidos, como por exemplo utilização do STI por forma a validar os valores do RASTI, a Claridade ( $C_{50}$ ), a Definição ( $D_{50}$ ) e a percentagem de perda de consoantes ( $\%Al_{cons}$ ).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Abdou, Adel A. *Measurement of acoustical characteristics of mosques in Saudi Arabia*. Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 113 (3), Março 2003, páginas 1505-1517, Acoustical Society of America.
- [2] Oliveira de Carvalho, A. P. *Acústica Ambiental e de Edifícios*, v.7.2. FEUP, Porto, 2009.
- [3] Isbert, Antoni. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions UPC, Barcelona, 1998.
- [4] Rayleigh, John. *The Theory of sound*. Dover Publications, New York, 1976.
- [5] Silva, P. Martins da. *ITE 8 – Acústica de Edifícios*. LNEC, Lisboa, 1998.
- [6] Miñana, José Pérez. *Compendio Práctico de Acústica*. Editorial Labor, Barcelona, 1969.
- [7] Kleiner, Mendel, Klepper, David Lloyd, Torres, Rendell R. *Worship Space Acoustics*. J. Ross Publishing, 2010.
- [8] *Lexioteca – Ciência e Técnica – esboço histórico, mecânica, termodinâmica, ciência, sociedade*. Círculo de Leitores, 1990.
- [9] Kurtze, Günther. *Física y técnica de la lucha contra el ruido*. Ediciones Urmo, Bilbao, 1969.
- [10] EN ISO 140. *European Norm Standard – Measurement of sound insulation in buildings elements*.
- [11] ISO 226:2003. *Acoustics –Normal equal-loudness-level contours*.
- [12] Blogue Chr Acustica. <http://chracustica.zip.net/images/ponderacao.jpg> Acedido em 15/10/2010.
- [13] EN ISO 11654:1997. *European Norm Standard – Sound absorbers for in use in buildings – Rating of sound absorption*.
- [14] EN ISO 354:2003. *European Norm Standard - Measurement of sound absorption in a reverberation room*.
- [15] Sítio Moulton Laboratories. [http://www.moultonlabs.com/more/acoustical\\_measurements\\_for\\_the\\_rest\\_of\\_us/P1/](http://www.moultonlabs.com/more/acoustical_measurements_for_the_rest_of_us/P1/) Acedido em 15/10/2010.
- [16] Sítio Meyer Sound. <http://www.meyersound.com/support/papers/speech/section4.htm> Acedido em 15/10/2010.
- [17] Oliveira de Carvalho, A.P. *Influence of architectural features and styles on various acoustical measures in churches*. Dissertação de Doutoramento, Universidade da Flórida, EUA, 1994.
- [18] ANSI/ASA S12.2-2008 *American National Standard Criteria for Evaluating Room Noise*.
- [19] ISO 1996-1:2003 *European Norm Standard - Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures*.
- [20] Sítio Universidade Simon Fraser. <http://www.sfu.ca/sonic-studio/> Acedido em 15/10/2010.
- [21] Sítio The Engineering ToolBox. [http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d\\_60.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html) Acedido em 16/10/2010.
- [22] Partridge, Christopher. *Enciclopédia das Novas Religiões*. Editorial Verbo, Lisboa, 2006.
- [23] Fisher, Mary Pat. *A Religião no Século XXI*. Edições 70, Lisboa, 1999.
- [24] Eliade, Mircea, Couliano, Ion P. *Dicionário das Religiões*. Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1993.

- [25] Blogue Mensagem de Fé. [http://mensagemdf.blogspot.com/2010\\_06\\_01\\_archive.html](http://mensagemdf.blogspot.com/2010_06_01_archive.html) Acedido em 04/11/2010.
- [26] Lind, Trevor. *História das Religiões*. Editorial Presença, Lisboa, 1994.
- [27] *Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira de Cultura – Vol. 3* – Edição Século XXI, Editorial Verbo, Lisboa / São Paulo, 1998.
- [28] Sítio O Mandamento. <http://www.omandamento.com.br/arca-da-alianca/arca-da-alianca-tamanho-da-replica-do-original-exclusiva.html> Acedido em 04/11/2010.
- [29] Sítio Jesus is Lord. <http://worshippingchristian.org/blog/?p=7824> Acedido em 04/11/2010.
- [30] Saussaye, Chantepie de La. *História das Religiões – Vol. 1*. Círculo de Leitores, Lisboa, 1979.
- [31] Blogue Revisando. <http://revisando.wordpress.com/2009/01/09/porque-ainda-estou-na-igreja> Acedido em 04/11/2010.
- [32] Sítio Comunidade Israelita do Porto. <http://www.comunidade-israelita-porto.org> Acedido 9/11/2010.
- [33] Martins, Jorge. *Portugal e os Judeus vol. 1 – Dos primórdios da nacionalidade à legislação pombalina*. Nova Veja, Lisboa, 2006.
- [34] Martins, Jorge. *Portugal e os Judeus vol. 3 – Judaísmo e anti-semitismo no século XX*. Nova Veja, Lisboa, 2006.
- [35] Sítio Meta Filter. <http://www.metafilter.com/77531/There-are-no-more-Jews-in-Portugal> Acedido em 10/11/2010.
- [36] Página oficial da cidade de Hamburgo. <http://fhh.hamburg.de/stadt> Acedido em 10/11/2010.
- [37] Sítio Rotas Turísticas. <http://www.rotasturisticas.com/visitV.php?id=8607&op=Portugal&op1=Lisboa> Acedido em 20/11/2010.
- [38] Sítio Comunidade Israelita de Lisboa – história da comunidade. [http://www.cilisboa.org/hist\\_cil.htm](http://www.cilisboa.org/hist_cil.htm) Acedido em 15/11/2010.
- [39] Sítio Skycraper City. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=318449> Acedido em 15/11/2010.
- [40] Sítio Comunidade Judaica Masorti de Lisboa – sinagoga. [http://www.beitIsrael.org/?page\\_id=7](http://www.beitIsrael.org/?page_id=7) Acedido em 09/11/2010.
- [41] Blogue Comunidade Judaica de Belmonte. <http://comunidadejudaicabelmonte.blogspot.com/2010/03/dona-gracia-nasi-500-anos.html> Acedido em 15/11/2010.
- [42] Fórum FJR Portugal. <http://www.fjrportugal.com/forum/viewtopic.php?f=8&t=1716> Acedido em 20/11/2010.
- [43] Sítio Jornal Expresso – Notícia do dia 17/11/2009. <http://aeiou.expresso.pt/acoressinagoga-de-ponta-delgada-uma-das-mais-antigas-de-portugal-vai-ser-reabilitada-c-fotos=f547941> Acedido em 15/11/2010.
- [44] Blogue Por Terras de Sefarad. <http://porterrassefarad.blogspot.com/2010/12/ponta-delgada-di%C3%A1rio-de-not%C3%ADcias.html> Acedido em 15/11/2010.
- [45] Blogue À descoberta de Tomar. <http://descobrir-tomar.blogs.sapo.pt/2466.html> Acedido em 15/11/2010.

- [46] Blogue Dar corda ao neurónio. <http://darcordaoneuronio.blogspot.com/2008/02/sinagoga-de-tomar.html> Acedido em 20/11/2010.
- [47] Blogue Espaço e Memória – Associação Cultural de Oeiras. <http://espacoememoria.blogspot.com/2010/12/circularidade-cultural-e-resistencia.html> Acedido em 22/11/2010.
- [48] *Grande Enciclopédia Portuguesa e Brasileira – Vol. XXIX*, Editorial Enciclopédia, Lisboa / Rio de Janeiro.
- [49] Kleiner, Mendel, Klepper, David L. *Acoustics of music and voice in Jewish worship spaces*. 153<sup>rd</sup> Meeting – Acoustical Society of America, Junho de 2007, Salt Lake City, Utah.
- [50] Sítio Tikvah Yisrael. <http://www.hopeofisraelministries.com/theshofar.htm> Acedido em 10/10/2010.
- [51] Sítio Pohick Church – Gamla. <http://www.pohick.org/sts/gamla.html> Acedido em 10/10/2010.
- [52] Sítio Pohick Church – Capernaum. <http://www.pohick.org/sts/capernaum.html> Acedido em 10/10/2010.
- [53] Sítio Jewish Virtual Library. <http://www.jewishvirtuallibrary.org/jsource/Judaism/synSpain.html> Acedido em 10/10/2010.
- [54] Blogue Planet Israel. [http://planetisrael.blogspot.com/2007\\_08\\_01\\_archive.html](http://planetisrael.blogspot.com/2007_08_01_archive.html) Acedido em 10/10/2010.
- [55] Sítio Wikimedia Commons – Belz Worl Trade Center. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Belz\\_World\\_Center\\_Inside.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Belz_World_Center_Inside.jpg) Acedido em 10/10/2010.
- [56] Sítio Comunidade Judaica de Gotemburgo. <http://www.judiskaaforsamlingen.se/> Acedido em 10/10/2010.
- [57] Blogue Cosmodemonic Telegraph Company. <http://cosmotc.blogspot.com/2008/04/synagogue-of-maroussi.html> Acedido em 10/10/2010.
- [58] Sítio Temple Israel. <http://www.templeisraelalbany.org/> Acedido em 10/10/2010.
- [59] Strumpf, F. Michael, Shafrir, Zvi. *Acoustics in the Design of Synagogues in Israel*. 83<sup>rd</sup> Meeting – Acoustical Society of America, Abril de 1972.
- [60] Sítio Orpheus Acoustics – Sinagoga. <http://www.orpheus-acoustics.com/synagogue.asp> Acedido em 6/10/2010.
- [61] Sítio CZ Sound. <http://www.czsound.com/worshippics.htm> Acedido em 10/10/2010.
- [62] Sítio Wikipedia inglesa – Mechitza. <http://en.wikipedia.org/wiki/Mechitza> Acedido em 10/10/2010.
- [63] Sítio Goldring Woldenberg Institute of Southern Jewish Life. <http://www.isjl.org/history/archive/ga/vidalia.html> Acedido em 10/10/2010.
- [64] Sítio Congregação Ahavas Sholom. <http://www.ahavas-sholom.org/mechitza.htm> Acedido em 10/10/2010.
- [65] Sítio Artisans of the Valley. [http://www.artisansofthevalley.com/bi\\_rl\\_mechitza.shtml](http://www.artisansofthevalley.com/bi_rl_mechitza.shtml) Acedido em 10/10/2010.
- [66] Sítio Electronic Districsides – Sinagoga. <http://electronic.districtsides.com/synagogue-mi> Acedido em 10/10/2010.



- [67] Sítio Hubpages – Temple Beth El. [http://hubpages.com/hub/Temple\\_Beth\\_El\\_by\\_Yamasaki\\_-\\_Bloomfield\\_Hills](http://hubpages.com/hub/Temple_Beth_El_by_Yamasaki_-_Bloomfield_Hills) Acedido em 10/10/2010.
- [68] Sítio Beit Chabad. <http://www.chabad.org.br/interactivo/FAQ/microfone.html> Acedido em 10/10/2010.
- [69] Sítio Clayton Acoustics – Congregação Shearith Israel. <http://www.claytonacoustics.com/pages/portfolio/orthodox%20synagogues/project%20profiles/Cong%20Shearith%20Israel.html> Acedido em 10/10/2010.
- [70] Sítio Clayton Acoustics – Sinagoga Hampton. <http://www.claytonacoustics.com/pages/portfolio/orthodox%20synagogues/project%20profiles/Hampton%20Synagogue.html> Acedido em 10/10/2010.
- [71] Sítio Comunidade Judaica Masorti de Lisboa – História. <http://www.beitisrael.org/?p=336> Acedido em 10/11/2010.
- [72] Sítio Google Maps – Rua de Guerra Junqueiro. <http://maps.google.com/maps/mm?ie=UTF8&hl=pt-PT&ll=41.157308,-8.634117&spn=0.004701,0.01545&z=17> Acedido 10/11/2010.
- [73] Sítio Bing Maps – Rua de Guerra Junqueiro. <http://www.bing.com/maps/> Acedido 10/11/2010.
- [74] Knudsen, Vern O., Harris, Cyril M. *Acoustical designing in Architecture*. Published for the Acoustical Society of America by the American Institute of Physics, 1978.
- [75] Rettinger, Michael. *Acoustic Design and Noise Control – volume I*. Chemical Publishing Co, Nova Iorque, 1977.
- [76] ISO 1996-1:2003. *Description, measurement and assessment of environmental noise*.
- [77] Sítio Industrial Acoustics. <http://www.industrialacoustics.com/uk/reference/bluebook/> Acedido 15/11/2010.
- [78] Sítio Universidade Simon Fraser – Noise Raintg. [http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Noise\\_Rating.html](http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Noise_Rating.html) Acedido em 10/11/2010.
- [79] Silva, Telma. *Guião da Acústica de Igrejas em Portugal*. Dissertação de Mestrado MIEC, FEUP, 2008.
- [80] Lencastre, Margarida M. M. *A inteligibilidade da palavra em Igrejas Católicas, através de análises de carácter objectivo e subjectivo*. Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios, FEUP, 1988.
- [81] Freitas, Carina. *Caracterização acústica de Mesquitas – A Mesquita Central de Lisboa*. Dissertação de Mestrado MIEC, FEUP, 2010.
- [82] Monteiro, Cândido. *Comparação entre a Acústica em Igrejas Católicas e em Mesquitas*. Dissertação de Mestrado MIEC, FEUP, 2008.
- [83] Sítio Audio List. <http://audiolist.org/forum/kb.php?mode=article&k=232> Acedido em 03/01/2011.
- [84] Catálogo comercial do produto *SonaSpray* empresa S.T.I.E.R., 2010.
- [85] Catálogo comercial do produto *Sonakrete* empresa S.T.I.E.R., 2010.
- [86] Catálogo comercial do produto *BASWAphon* empresa S.T.I.E.R., 2010.